

# **Veränderung des Wissenschaftsverständnisses von Lehramtsstudierenden in einem Learning by Design-Ansatz**

Von der Pädagogischen Hochschule Freiburg  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)  
genehmigte Dissertation von

**Bernd Schüssele**  
aus  
Offenburg

Promotionsfach: Erziehungswissenschaft

Erstgutachter: Prof. Dr. Elmar Stahl

Zweitgutachter: Prof. Dr. Silke Mikelskis-Seifert

Tag der mündlichen Prüfung: 3. August 2017

# Inhalt

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Thematische Hinführung .....	1
1.2 Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch Learning by Design .....	2
1.3 Annäherung an den Begriff „Wissenschaftsverständnis“ .....	2
1.4 Aufbau der Arbeit .....	4
<b>2. Persönliche Epistemologie .....</b>	<b>6</b>
2.1 Konzept.....	6
2.1.1 Bezüge und Abgrenzung zur Philosophie .....	7
2.1.2 Domänen-, Disziplin- und Kontextabhängigkeit persönlicher Epistemologie .....	10
2.1.3 Generative Natur epistemischer Urteile .....	13
2.2 Bedeutung .....	16
2.2.1 Überfachliche Einordnung.....	17
2.2.2 Fachliche Einordnung.....	19
2.3 Offene Probleme .....	21
2.4 Veränderbarkeit .....	24
2.5 Persönliche Epistemologie in Schule und Studium .....	29
2.5.1 Persönliche Epistemologie von Lernenden .....	29
2.5.2 Zusammenhang zwischen persönlicher Epistemologie und professionellem Handeln der Lehrenden .....	32
2.5.3 Maßnahmen zur Veränderung und Förderung persönlicher Epistemologie.....	35
2.6 Zusammenfassung .....	39
<b>3. Nature of Science .....</b>	<b>42</b>
3.1 Konzept.....	42
3.1.1 Aspekte der Nature of Science .....	43
3.1.2 Bezüge und Abgrenzung zur Philosophie .....	47
3.2 Bedeutung .....	49
3.2.1 Überfachliche Einordnung.....	50
3.2.2 Fachliche Einordnung.....	52
3.3 Offene Probleme .....	55
3.4 Veränderbarkeit .....	57
3.5 Nature of Science in Schule und Studium .....	57
3.5.1 NOS-Ansichten von Lernenden.....	58
3.5.2 NOS-Ansichten von Lehrenden.....	60
3.5.3 Maßnahmen zur Veränderung und Förderung der NOS-Ansichten .....	61
3.6 Zusammenfassung .....	66
<b>4. Konzeptualisierung von Wissenschaftsverständnis in physikspezifischen Kontexten .....</b>	<b>68</b>
4.1 Abgrenzung Persönlicher Epistemologie von Nature of Science – ein schwieriges Unterfangen .....	68
4.2 Konzeptionelle Unterschiede als sich ergänzende Aspekte einer integrativen Heuristik .....	74
4.3 Ziel: ein besseres Verständnis für die kognitiven Grundlagen der epistemischen Urteilsbildung .....	75
4.4 Disziplin- und kontextspezifische Aspekte des Wissenschaftsverständnisses in Physik .....	77

<b>5. Learning by Design – Lernen durch Medienproduktion .....</b>	<b>81</b>
5.1 Begriffsbestimmung und Grundlagen.....	81
5.2 Lernförderliche Aspekte von Learning by Design .....	85
5.3 Modelle des Schreibprozesses und der Selbstregulation als konzeptionelle Grundlagen von Learning by Design.....	86
5.4 Fünf Phasen der Medienproduktion für den Wissenserwerb.....	90
<b>6. Fragestellungen des empirischen Teils.....</b>	<b>93</b>
<b>7. Qualitative Studie zur Entwicklung und Analyse der Interventionsmaßnahme .....</b>	<b>98</b>
7.1 Einleitung.....	98
7.2 Fragestellung.....	99
7.3 Ausgestaltung von Learning by Design in einer Hochschulveranstaltung der Physik zur Förderung des Wissenschaftsverständnisses .....	99
7.3.1 Ein hypermediales Medienprodukt zum Thema „Was ist das Wesen von Licht? – Entwicklung der Theorie von Licht“ .....	100
7.3.2 Theoretischer Hintergrund des Themas der Interventionsmaßnahme: Die Natur des Lichts aus wissenschaftshistorischer Perspektive .....	100
7.3.3 Nature of Science-Aspekte des Themas .....	110
7.3.4 Überlegungen zur Gestaltung eines hypermedialen Medienprodukts im Rahmen des Learning by Design-Ansatzes .....	115
7.4 Stichprobe .....	119
7.5 Material.....	119
7.5.1 Vorstellung des Konzepts „Learning by Design“.....	119
7.5.2 Begriffliche und gestalterische Grundlagen zur Erstellung von Hypertext....	119
7.5.3 Informationsquellen.....	120
7.5.4 Geräteausstattung.....	120
7.5.5 Instrument .....	120
7.5.6 Geplanter Verlauf der explorativen Interventionsmaßnahme .....	121
7.6 Verlauf der Intervention .....	122
7.7 Ergebnisse.....	123
7.7.1 Der Hypertext .....	123
7.7.2 Organisatorische Aspekte .....	125
7.7.3 Rückmeldung der Studierenden.....	126
7.7.4 Gruppendiskussion .....	128
7.8 Diskussion.....	128
<b>8. Operationalisierung von Wissenschaftsverständnis in physikspezifischen Kontexten .....</b>	<b>133</b>
8.1 Überlegungen zum methodischen Zugang .....	133
8.2 Basis des Erhebungsinstruments.....	135
8.2.1 Connotative Aspects of Epistemological Beliefs (CAEB) .....	136
8.2.2 Topic-Specific Epistemic Beliefs Questionnaire (TSEBQ) .....	138
8.2.3 Views of Nature of Science questionnaire (VNOS) .....	139
8.2.4 Views on Science and Education (VOSE) .....	140
8.3 Adaption und Integration .....	141
8.4 Erste Erprobung des Fragebogenentwurfs.....	145
8.4.1 Fragestellung .....	145
8.4.2 Methode .....	145
8.4.2.1 Stichprobe .....	145
8.4.2.2 Material und Durchführung .....	146



8.4.3	Ergebnisse.....	146
8.4.4	Diskussion .....	148
<b>9.</b>	<b>Pilotierung des Erhebungsinstruments .....</b>	<b>149</b>
9.1	Fragestellung.....	149
9.2	Methode .....	150
9.2.1	Stichprobe .....	150
9.2.2	Instrument .....	151
9.2.2.1	Geschlossene Items .....	151
9.2.2.2	Offene Items .....	152
9.2.3	Material und Durchführung .....	153
9.3	Ergebnisse.....	153
9.3.1	Empirische Überprüfung des Instruments .....	153
9.3.1.1	Skalen des Fragebogens .....	153
9.3.1.1.1	Connotative Aspects of Epistemological Beliefs (CAEB) .....	153
9.3.1.1.2	Adaptierte Skalen des Topic-Specific Epistemic Beliefs Questionnaire (TSEBQ) .....	155
9.3.1.1.3	Skalen des Views on Science and Education (VOSE) .....	156
9.3.1.1.4	Die Skalen im Überblick .....	157
9.3.1.2	Venn-Diagramme .....	158
9.3.1.3	Offene Items .....	159
9.3.1.3.1	Auswertung der Daten .....	159
9.3.1.3.2	Kategoriensystem .....	159
9.3.1.3.3	Intercoder-Übereinstimmung .....	165
9.3.2	Analyse des Wissenschaftsverständnisses .....	166
9.3.2.1	Vergleich der disziplinspezifischen epistemischen Urteile zu Wissen in Physik und Wissen in den Erziehungswissenschaften/Pädagogik .....	166
9.3.2.2	Vergleich von disziplin- und themenspezifischen epistemischen Urteilen .....	168
9.3.2.3	Unterschiede im Wissenschaftsverständnis zwischen Gruppen mit unterschiedlichem Fachwissen .....	170
9.3.2.4	Zusammenhänge zwischen den Antworten der geschlossenen und offenen Items .....	179
9.4	Diskussion.....	183
9.4.1	Zur empirischen Überprüfung des Testentwurfs .....	183
9.4.2	Zur Analyse des Wissenschaftsverständnisses .....	185
<b>10.</b>	<b>Hauptstudie: Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch Learning by Design .....</b>	<b>192</b>
10.1	Fragestellung.....	192
10.2	Methode der Hauptstudie.....	192
10.2.1	Stichprobe .....	192
10.2.2	Instrumente .....	193
10.2.2.1	Erhebung des Wissenschaftsverständnisses .....	194
10.2.2.2	Einschätzung des eigenen Kompetenzerwerbs in den Bereichen der Wissensdomäne und der Mediennutzungskompetenzen .....	195
10.2.3	Material und Durchführung .....	196
10.3	Ergebnisse der Hauptstudie .....	200
10.3.1	Zwischenstadien der Medienprodukte der einzelnen Phasen .....	200
10.3.1.1	Phase 1: Das Grundkonzept des Hypertexts .....	200
10.3.1.2	Phase 2: Die Erstellung einzelner Informationseinheiten .....	202

10.3.1.3	Phase 3: Festlegung der Gesamtstruktur	205
10.3.1.4	Phase 4: Herausarbeitung der Kontroverse	206
10.3.1.5	Phase 5: Das bewusste Setzen von Hyperlinks	206
10.3.2	Skalenanalyse und Güte der Skalen	208
10.3.2.1	Skalen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses	208
10.3.2.2	Einschätzung des Kompetenzerwerbs	209
10.3.3	Deskriptivstatistische Analyse der geschlossenen Items	211
10.3.3.1	Analyse des Wissenschaftsverständnisses	211
10.3.3.2	Analyse der Einschätzung des eigenen Kompetenzerwerbs	212
10.3.4	Offene Antworten der Hauptstudie	213
10.3.4.1	Kategoriensystem	213
10.3.4.2	Deskriptive Analyse	217
10.3.5	Analyse des Wissenschaftsverständnisses und die Auswirkungen der Intervention	222
10.3.5.1	Das Wissenschaftsverständnis vor Beginn der Learning by Design-Phase	223
10.3.5.2	Vergleich der Skalenwerte zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt	227
10.3.5.3	Das Wissenschaftsverständnis nach der Intervention	231
10.3.6	Einschätzungen der Studierenden zu Learning by Design	240
10.4	Ergänzende qualitative Studie	244
10.4.1	Fragestellung und Methode der ergänzenden Interviews	244
10.4.2	Stichprobe	245
10.4.3	Material und Durchführung	245
10.4.4	Ergebnisse der ergänzenden Interviews	246
10.5	Diskussion	256
<b>11.</b>	<b>Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>269</b>
11.1	Einschränkungen und methodische Anmerkungen	269
11.2	Ergebnisse aus Vor- und Hauptstudie aus Perspektive des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile	270
11.3	Veränderung des Wissenschaftsverständnisses im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes	275
11.4	Learning by Design als Beispiel für Integration von Medienbildung in den Fachunterricht	278
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>280</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>295</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>297</b>
	<b>Anhang</b>	<b>299</b>
Anhang I:	Fragebogen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik (Fassung der Pilotierung)	300
Anhang II:	Fragebogen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik (Fassung der Hauptstudie)	315
Anhang III:	Ergebnisse der Skalen- und Reliabilitätsanalysen - Pilotierung	323
Anhang IV:	Kategoriensystem zur Erfassung der Antworten der offenen Items	330
Anhang V:	Informationsquellen für die Interventionsmaßnahme der Hauptstudie	335
Anhang VI:	Deskriptivstatistische Kennwerte (Wissenschaftsverständnis) der Hauptstudie	337

Anhang VII: .....	Exemplarische Darstellung einzelner Informationsknoten der explorativen Phase.....	338
Anhang VIII: .....	Exemplarische Darstellung einzelner Informationsknoten der Hauptstudie ....	342
Anhang IX:.....	Interviewleitfaden „Wissenschaftsverständnis in Physik & Learning by Design“ .....	347
Anhang X:.....	Transkriptionsregeln für die ergänzenden Interviews .....	353
Anhang XI:.....	Anleitung zur Erstellung von Hyperlinks und verweissensitiver Abbildungen in MS PowerPoint.....	354

# 1. Einleitung

## 1.1 Thematische Hinführung

Im Jahr 2011 verlieh die Akademie der Wissenschaft in Stockholm dem israelischen Physiker Daniel Shechtman den Chemie-Nobelpreis für die Entdeckung der Quasikristalle (vgl. Süddeutsche Zeitung, 2011). Das Besondere an Shechtmans Arbeit ist einerseits, dass sie unter Forschern in der Chemie die Vorstellung von Materie grundlegend veränderte. Andererseits ist sein Lebenswerk auch deshalb bedeutsam, weil es exemplarisch aufzeigt, dass Entdeckungen und Erkenntnisse in den Naturwissenschaften unter Umständen länger brauchen, bis sie in den Wissenskanon einer Disziplin aufgenommen werden und dabei verschiedensten Einflussfaktoren unterliegen, die nach landläufigen Vorstellungen nicht in den Zusammenhang mit naturwissenschaftlichem Wissen gebracht werden.

Im Jahr 1982 untersuchte Shechtman mit einem Elektronenmikroskop eine Mischung aus Aluminium und Mangan und entdeckte dabei anhand der Beugungsmuster der Elektronen eine Anordnung der Atome, die nach der damaligen Lehrmeinung als unmöglich erschien. Shechtmans Beschreibung der Kristallmuster kam in den Augen seiner Fachkollegen einer Verletzung der Naturgesetze gleich und entsprechend vehement wurde sie abgelehnt. Sein damaliger Labor-Chef empfahl ihm, ein Lehrbuch der Kristallografie zu lesen, da er etwas falsch verstanden haben müsse. Shechtman wurde auch nahe gelegt, seine damalige amerikanische Arbeitsgruppe zu verlassen, was er dann auch tat. Im darauffolgenden Jahr konnte er zusammen mit einem Kollegen in Israel die außergewöhnlichen Beobachtungen wiederholen. Die Publikation der Ergebnisse wurde jedoch 1984 von dem einflussreichen Journal of Applied Physics abgelehnt.

Nachdem dann doch nach und nach immer mehr Wissenschaftler ebenfalls die außergewöhnliche Anordnung von Atomen beobachten konnten, wurde im Jahr 1992 durch die Internationale Gesellschaft für Kristallographie die Definition des Kristalls abgeändert. Die technische Nutzung von Quasikristallen folgte beispielsweise in der Medizintechnik. Im Jahr 2009 wurden dann erstmals Quasikristalle in der Natur entdeckt.

Dieser Fall zeigt, dass der Erfolg von Theorien von Einflussfaktoren abhängen kann, die eher nicht mit gängigen Vorstellungen zur Wissensgenese in den Naturwissenschaften in Verbindung gebracht werden. Einerseits waren es im Falle Shechtmans soziale Faktoren, wie der zeitweilige Entzug seiner Arbeitsgrundlage sowie die Ablehnung durch die Scientific Community, die dazu führten, dass sich die Erkenntnisse zunächst nicht durchsetzten. Andererseits war es Shechtmans außergewöhnliches Durchhaltevermögen, das langfristig, auch mit Unterstützung von Kollegen, zum Erfolg der neuen Theorie führten.

Typischerweise werden solche Einflussfaktoren auf die Wissensgenese landläufig nicht in Zusammenhang mit naturwissenschaftlichem Wissen gebracht. In der öffentlichen Diskussion so-

wie in der Schule wird dagegen naturwissenschaftliches und im Speziellen physikalisches Wissen tendenziell als sicher, unveränderlich und objektiv dargestellt. Der Einfluss anderer Faktoren, wie im Falle Shechtmans aufgezeigt, kommt häufig bei der Vermittlung naturwissenschaftlichen Wissens in Schule und Öffentlichkeit zu kurz.

## 1.2 Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch Learning by Design

Lehrkräften kommt in der Schule bei der Anbahnung und Förderung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses eine ausschlaggebende Rolle zu. Jedoch vermitteln Lehrerinnen und Lehrer den Lernenden häufig ein verzerrtes Wissenschaftsverständnis, indem sie beispielsweise den objektiven Charakter naturwissenschaftlichen Wissens übermäßig betonen.

Im Sinne der Professionalisierung zukünftiger Lehrkräfte ist es deshalb wichtig, dass Lehramtsstudierende in ihrer Ausbildung ihr eigenes Wissenschaftsverständnis reflektieren und gegebenenfalls verändern.

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob das Wissenschaftsverständnis von Lehramtsstudierenden in Hochschulveranstaltungen im Rahmen eines *Learning by Design*-Ansatzes verändert werden kann. Learning by Design ist ein didaktisches Konzept, bei dem sich Lernende durch Medienproduktion selbstgesteuert und kollaborativ mit den Inhalten des zu erstellenden Medienprodukts auseinandersetzen. Auf diese Art wird der Erwerb von Wissen durch die Gestaltung von Medien initiiert. Die Prinzipien des mediendidaktischen Ansatzes von Learning by Design wurde in dieser Arbeit auf eine Intervention im Rahmen von Hochschulveranstaltungen in der Lehrerbildung angewandt.

## 1.3 Annäherung an den Begriff „Wissenschaftsverständnis“

Der Begriff „Wissenschaftsverständnis“ findet sich in der deutschsprachigen Fachdidaktik und Bildungsforschung in mehr oder weniger stark unterschiedlicher Verwendung. Was die jeweiligen Autoren unter Wissenschaftsverständnis verstehen, gründet zum Teil auf verschiedenen theoretischen Grundlagen, Forschungsansätzen und Disziplinen. Dementsprechend unterscheiden sich die Definitionen und Umschreibungen von Wissenschaftsverständnis.

In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung wird Wissenschaftsverständnis häufig mit dem Verständnis der Natur der Naturwissenschaften (Nature of Science) gleich gesetzt (z. B. Hardy et al., 2010; Sodian & Koerber, 2011; Wellnitz et al., 2012). So verstanden ist Wissenschaftsverständnis in den Naturwissenschaften Teil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (Scientific literacy), die über naturwissenschaftliches (Fakten-)Wissen und die Kenntnis naturwissenschaftlicher Prozeduren (Wellnitz et al., 2012) hinausgeht. In der deutschsprachigen Literatur wird Unterricht über die Natur der Naturwissenschaften häufig als eine Auseinandersetzung mit wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Reflexionen der Inhalte beschrieben (z. B. Kircher, 2015c; Wellnitz et al., 2012). Kremer und Mayer (2013) gebrauchen den Begriff

„Naturwissenschaftsverständnis“ und verstehen darunter das Verständnis über Prozesse der Naturwissenschaften, das Heranwachsende befähigen soll, Naturwissenschaft als einen Weg der Welterschließung zu erkennen.

In der empirischen Bildungsforschung findet sich der Begriff Wissenschaftsverständnis häufig im Zusammenhang mit epistemologischen/epistemischen Überzeugungen. So beschreiben Köller, Baumert und Neubrand (2000, S. 268) epistemische Überzeugungen als „*intuitive Theorien, die integraler Teil des Fachverständnisses sind*“. Sie beziehen sich dabei auf Erkenntnisse der Pädagogischen Psychologie und verweisen auf Hofer und Pintrich (1997), die epistemische Überzeugungen als Überzeugungen zur Natur des Wissens (nature of knowledge) und zur Natur der Wissensgenese bzw. des Wissensprozesses beschreiben (nature of knowing). Seidel, Schwindt, Rimmel und Prenzel (2008) setzen den Begriff Wissenschaftsverständnis mit epistemischen Überzeugungen gleich und beziehen sich dabei ebenfalls auf Forschungsergebnisse der Psychologie. Bei der Unterscheidung epistemischer Überzeugungen nach unterschiedlichen Orientierungen stellen sie im Unterschied zu Köller et al. Bezüge zur naturwissenschaftsdidaktischen Forschungsliteratur her (vgl. Seidel et al., 2008, S. 260).

Die Bezüge des Begriffs *Wissenschaftsverständnis* zu Nature of Science (NOS) einerseits und zur persönlichen Epistemologie andererseits deuten auf interdisziplinäre Gemeinsamkeiten zwischen Naturwissenschaftsdidaktik und Psychologie hin. Neumann und Kremer (2013) kommen in einer Analyse zu dem Ergebnis, die Konzepte von Nature of Science und epistemischen Überzeugungen seien nicht scharf voneinander abzugrenzen. Vielmehr bewegen sich die Theorien zur persönlichen Epistemologie sowie zu Nature of Science in neueren Ansätzen aufeinander zu.

In den beiden folgenden knappen Beschreibungen der Forschungsgegenstände der jeweiligen Disziplin werden Parallelen sowohl inhaltlicher als auch terminologischer Art sichtbar:

- Nature of Science bezieht sich typischerweise auf die Epistemologie und Soziologie der Naturwissenschaften oder die Werte und Überzeugungen, die naturwissenschaftlichem Wissen und seiner Entwicklung zu eigen sind (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002, S. 498).
- Unter persönlicher Epistemologie versteht man subjektive Annahmen und Überzeugungen von Individuen zur Natur des Wissens (nature of knowledge) und des Prozesses des Wissens (nature of knowing) (Hofer & Pintrich, 1997, S. 119–120).

Diese erste Annäherung an den Begriff Wissenschaftsverständnis aus psychologischer und naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive deutet auf zwei Sachverhalte hin. Zum einen existiert in der deutschsprachigen Literatur keine eindeutige Definition von Wissenschaftsverständnis und zum anderen sind es verschiedene Disziplinen, die sich mit dem Wissenschaftsverständnis von Individuen befassen. Dementsprechend gibt es zwischen den Disziplinen terminologische,

theoretische und methodologische Berührungspunkte aber auch Unterschiede in der Untersuchung dessen, was Wissenschaftsverständnis ist und welches Verständnis Lernende und Lehrende von Wissen in der (Natur-)Wissenschaft haben.

Zu Beginn des theoretischen Teils dieser Arbeit werden beide Konzeptualisierungen von Wissenschaftsverständnis vorgestellt, um danach die psychologische Perspektive (persönliche Epistemologie) und naturwissenschaftsdidaktische Perspektive (Nature of Science) im Sinne einer Ergänzung aufeinander zu beziehen.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

In **Kapitel zwei** und **drei** werden die Konzepte der persönlichen Epistemologie und Nature of Science vorgestellt. Dabei wird getrennt voneinander auf deren jeweilige konzeptionelle Grundlagen, deren Bedeutung für Fachdidaktik und Bildungsforschung, den offenen Problemen, der Frage nach der Veränderbarkeit von Wissenschaftsverständnis sowie der Rolle des Wissenschaftsverständnisses in Schule und Studium eingegangen. Der parallel angelegte Aufbau von Kapitel 2 und 3 ermöglichen den Vergleich der beiden Ansätze. Aufgrund dieser gewählten Struktur wird in dieser Arbeit das Wissenschaftsverständnis von Lernenden und Lehrenden jeweils bezüglich unterschiedlicher Aspekte und Schwerpunkte in den Blick genommen und von verschiedenen Seiten beleuchtet. So wird beispielsweise in Kapitel 2.2 zunächst auf die persönliche Epistemologie von Lehrenden und Lernenden eingegangen, um die fachliche Bedeutung des Ansatzes aufzuzeigen. In Kapitel 2.5 wird persönliche Epistemologie von Lehrenden und Lernenden dann im Hinblick auf die Bedeutung für Schule und Studium dargestellt, um die didaktisch-methodischen Implikationen für Lehr- und Lernprozesse aufzuzeigen.

Da sowohl Naturwissenschaftsdidaktik als auch Psychologie jeweils eigene Zugänge zur Erhebung und Analyse von Wissenschaftsverständnis haben, werden im **vierten Kapitel** Konzepte aus beiden Disziplinen aufeinander bezogen, um Wissenschaftsverständnis in dieser Arbeit differenzierter betrachten zu können. Ansätze aus den Forschungsfeldern der persönlichen Epistemologie und Nature of Science bilden die Grundlage einer Heuristik, die Ausgangspunkt für Konzeptualisierung und Operationalisierung des Erhebungsinstruments ist.

Im **fünften Kapitel** wird das didaktische Konzept „Learning by Design“ vorgestellt, das den Rahmen der Interventionsmaßnahme zur Veränderung des Wissenschaftsverständnisses in der Hauptstudie darstellt. Neben der Darlegung der konzeptionellen Grundlagen werden die lernförderlichen Aspekte dieses Ansatzes beschrieben, um anschließend die Chancen und Möglichkeiten des Einsatzes von Learning by Design zur Veränderung des Wissenschaftsverständnisses von Lehramtsstudierenden zu erörtern.

Die untersuchungsleitenden Fragestellungen werden im **sechsten Kapitel** vorgestellt.

Im **siebten Kapitel** wird berichtet, wie in einer explorativen Projektphase Learning by Design in einem physikdidaktischen Hochschulseminar durchgeführt wurde. Erprobt wurden dabei or-

ganisatorische, instruktionelle und inhaltliche Aspekte, um Konsequenzen für die Durchführung der Hauptstudie abzuleiten. In diesem Zusammenhang erfolgen eine ausführliche Analyse der fachlichen Inhalte der explorativen Phase sowie der Hauptstudie und die Bewertung deren Relevanz für das Wissenschaftsverständnis.

Die Konstruktion des Erhebungsinstruments wird im **achten Kapitel** beschrieben. Ausgehend von der Heuristik aus Kapitel vier wurden bestehende Erhebungsinstrumente aus den Forschungsfeldern persönlicher Epistemologie und Nature of Science adaptiert und inhaltlich aufeinander abgestimmt. Dabei wurden quantitative und qualitative Methoden integriert.

Im **neunten Kapitel** wird die Durchführung der Vorstudie berichtet, in der das Erhebungsinstrument pilotiert wurde. In der Vorstudie wurde das Wissenschaftsverständnis von 211 zukünftigen und ausgebildeten Lehrkräften unterschiedlicher Schularten und Fächer erhoben, um einerseits den Fragebogen für die Hauptstudie zu evaluieren und um andererseits das Wissenschaftsverständnis von Laien und Experten vergleichend zu untersuchen.

Eine Vorstellung der Hauptuntersuchung erfolgt in **Kapitel zehn**. In der Hauptstudie erstellten Lehramtsstudierende in zwei Hochschulseminaren jeweils ein Medienprodukt in Form eines Hypertexts. Dabei setzten sich die Studierenden auf medienproduktive Weise mit Inhalten auseinander, die förderlich für ein angemessenes Wissenschaftsverständnis sind. Mit dem entwickelten Instrument wurde untersucht, welche Auswirkungen die Interventionsmaßnahme auf das Wissenschaftsverständnis der Studierenden hatte.

Im **elften Kapitel** erfolgt eine Zusammenschau und zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse aus Vor- und Hauptstudie auf dem Hintergrund der dargestellten theoretischen Grundlagen.



## 2. Persönliche Epistemologie

### 2.1 Konzept

Die Forschung zur persönlichen Epistemologie hat ihre Anfänge in der Mitte der 1950er Jahre. Sie beschäftigt sich mit Fragen nach den Vorstellungen und Annahmen von Individuen zu Wissen und Wissensbeständen und wie sich diese individuellen Vorstellungen und Annahmen auf kognitive Prozesse des Denkens, Verstehens und Urteilens auswirken. Als Forschungsgegenstände rückten neben der individuellen epistemischen Entwicklung vor allem die epistemischen Überzeugungen von Individuen in den Fokus der Forschung (vgl. Hofer & Pintrich, 1997, S. 88).

Epistemische Überzeugungen werden im Ansatz von Hofer und Pintrich (1997) als Überzeugungen zur Natur des Wissens (*nature of knowledge*) und Natur des Wissenserwerbs (*nature of knowing*) beschrieben. Überzeugungen zur *Natur des Wissens* beziehen sich auf die Sicherheit (*certainty of knowledge*) und *Einfachheit/Komplexität* von Wissen (*Simplicity of knowledge*). Die individuellen Überzeugungen zur Sicherheit können sich darin ausdrücken, dass Wissen als entweder sicher und absolut oder vorläufig und als sich entwickelnd verstanden wird (119–120). Überzeugungen zur Einfachheit/Komplexität können sich in Annahmen ausdrücken, die Wissen als separate, konkrete Fakten oder als relativ, bedingt und kontextuell beschreiben (S. 119). Überzeugungen zum Wissenserwerb enthalten Ansichten zur Quelle des Wissens (*source of knowledge*) und zur Rechtfertigung von Wissen (*justification of knowledge*). Überzeugungen zur Quelle des Wissens reichen von Ansichten, Wissen entspringe außerhalb des Individuums und werde von Autoritäten übertragen bis hin zu Ansichten des Individuums als Wissenden, das Wissen in Interaktion mit Anderen konstruiert (S. 120). Die Dimension Rechtfertigung des Wissens beinhaltet Überzeugungen darüber, wie Individuen Wissen anhand von Evidenz, Autoritäten und Expertise evaluieren.

Das vierdimensionale Modell von Hofer und Pintrich ist in der Pädagogischen Psychologie die am weitesten verbreitete Konzeptualisierung persönlicher Epistemologie (vgl. Bromme, Pieschl & Stahl, 2010, S. 8). Ausgehend von verschiedenen Theorien zur persönlichen Epistemologie haben Hofer und Pintrich (1997) in einer Synopse die vier genannten Dimensionen identifiziert, für deren Existenz in diversen Studien (z. B. Bråten, Gil, Strømsø & Vidal-Abarca, 2009; Hofer, 2000, 2004b) empirische Belege erbracht werden konnten. Es existieren jedoch weitere, zum Teil empirisch gestützte Modelle, in denen sich die Anzahl an Dimensionen signifikant unterscheidet (vgl. Bromme & Pieschl et al., 2010, S. 8). Ebenso bestehen in den verschiedenen Ansätzen grundsätzliche Unterschiede in der Modellierung persönlicher Epistemologie. Je nach theoretischem Ansatz wird persönliche Epistemologie als Entwicklungsmodell, Überzeugungssystem, individuelle Theorien, epistemische Ressourcen oder als Bestandteil der Metakognition konzeptualisiert (vgl. Hofer, 2004a, S. 44–47). Unabhängig von der Modellierung persönlicher Epistemologie geht es jedoch im Kern aller Ansätze immer um die Frage,

welcher Grad an Sicherheit, Gültigkeit und „Wahrhaftigkeit“ Wissen durch Individuen zugeschrieben wird (vgl. Trautwein & Lüdtke, 2007, S. 909; Bromme, Kienhues & Stahl, 2008, S. 429).

Die Unterschiede in den theoretischen Fundierungen sind Grund für die Ausbildung einer Vielzahl an Forschungslinien, die jeweils ihre bevorzugten Terminologien und Interpretationen haben und alle unter dem Dach der Forschung zu persönlicher Epistemologie anzusiedeln sind (Briell, Elen, Verschaffel & Clarebout, 2011, S. 7). In einer Analyse zeigen Briell et al. (2011) die konzeptionelle und entsprechend terminologische Vielfalt des Forschungsfelds auf. Sie untersuchten 151 englischsprachige Studien, die in der Zeit von 1998 bis 2009 veröffentlicht wurden. Dabei stellten sie fest, dass zwölf häufig gebrauchte Bezeichnungen, wie z. B. „*Epistemological beliefs*“, „*Epistemic beliefs*“, „*Personal epistemology*“ oder „*Epistemology*“, existieren. Zudem identifizierten sie 26 weniger häufig gebrauchte Bezeichnungen, wie z. B. „*Epistemic assumptions*“, „*Epistemological knowledge*“ oder „*Epistemic worldviews*“ (S. 10). Am häufigsten sind in den analysierten Studien die beiden Adjektive „epistemological“ (*epistemologisch*) und „epistemic“ (*epistemisch*) zu finden. Mit Blick auf neuere Veröffentlichungen zum Thema fällt auf, dass sich immer häufiger die Verwendung des Adjektivs „*epistemic*“ durchsetzt (z. B. Bråten, Britt, Strømsø & Rouet, 2011; Franco et al., 2012; Muis & Duffy, 2013; Pieschl, Stahl & Bromme, 2013). Obwohl Briell et al. keine bedeutsamen semantischen Unterschiede zwischen den Begriffen erkennen, lässt sich aufgrund der Abgrenzung des Forschungsfelds der persönlichen Epistemologie zur philosophischen Epistemologie eine Empfehlung zur Nomenklatur ableiten, wie im folgenden Teilkapitel dargestellt wird.

### 2.1.1 Bezüge und Abgrenzung zur Philosophie

Im Forschungsfeld persönlicher Epistemologie bestehen terminologische und zum Teil auch theoretische Bezüge zu Philosophie und Wissenschaftstheorie. Dies wird u. a. daran deutlich, dass epistemologische Überzeugungen beispielsweise als „Laienvariante philosophisch-erkenntnistheoretischer Positionen“ (vgl. Schmid & Lutz, 2007, S. 29) oder als „Laien-Wissenschaftstheorie“ (vgl. Bromme & Kienhues, 2014, S. 68) bezeichnet werden. Aufgrund unterschiedlicher Forschungstraditionen zwischen Philosophie und Pädagogischer Psychologie besteht jedoch auch die Notwendigkeit, die Forschungsfelder voneinander abzugrenzen.

Epistemologie, auch Erkenntnislehre, ist ursprünglich eine Teildisziplin der Philosophie. Gegenstand der philosophischen Erkenntnistheorie ist das Verhältnis von Sein und Bewusstsein, Realität und Wissen. Zentrale Fragen für die philosophische Epistemologie sind, welche Ziele der Mensch mit seinen Erkenntnisbemühungen verfolgt, wie sich diese Ziele erreichen lassen, aufgrund welcher Kriterien entschieden werden kann, ob die Ziele erreicht sind und in welchen Bereichen diese Ziele erreicht werden können. Dabei setzt sich die Philosophie auch mit metaphysischen Fragen der menschlichen Erkenntnis und Erkenntnisfähigkeit auseinander. Schon die frühesten Überlieferungen europäischen Denkens aus dem 5. Jahrhundert v. Chr. beinhalten Fragen nach dem Wesen der Erkenntnis (Sandkühler, 2002, S. 1040–1042). Epistemologie als

philosophische Teildisziplin beschäftigt sich mit Ursprung, Wesen, Grenzen, Methoden und Rechtfertigung menschlichen Wissens (Hofer, 2002, S. 4).

Bei der Gegenüberstellung der Forschungsinteressen von Philosophie und Pädagogischer Psychologie wird deutlich, dass die Philosophie nach der menschlichen Erkenntnis im Allgemeinen fragt und dabei auf normativem Wege zu Aussagen kommt. In der Pädagogischen Psychologie dagegen interessieren die Überzeugungen von Individuen zum Wissen bzw. zum Wissenserwerb und der Zusammenhang mit anderen kognitiven Elementen und Prozessen. Diese Überzeugungen und Zusammenhänge werden im Unterschied zur Philosophie empirisch erforscht (vgl. Kitchener, 2011, S. 80). Briell et al. stellen die Vorgehensweise in Philosophie und Psychologie pointiert gegenüber: *“In short, professional epistemologists ask certain questions and draw certain conclusions; personal epistemological researchers ask parallel questions of lay folk and observe the answers”* (Briell et al., 2011, S. 16).

Der Grund für die Heterogenität der Forschungslandschaft im Bereich persönlicher Epistemologie liegt auch in der unterschiedlichen Nähe bzw. Distanz der konzeptionellen Ausrichtungen verschiedener theoretischer Arbeiten und Studien zur Philosophie. Buehl und Alexander (2001, S. 415) sehen die Ursache der Heterogenität in einer fehlenden eindeutigen Fundierung, die zum unklaren und ungenauen Gebrauch des Begriffs „Epistemologie“ führt. Sie sind der Meinung, die Orientierung an den philosophischen Wurzeln könne bei der nötigen Fundierung des gesamten Forschungsfelds der persönlichen Epistemologie helfen. Einzelne Studien orientieren sich deshalb verstärkt in ihren theoretischen Ausrichtungen an Konzepten aus Philosophie und Wissenschaftstheorie (z. B. Muis, Bendixen & Haerle, 2006; Schmid & Lutz, 2007). So sehen beispielsweise Schmid und Lutz (2007, S. 38) die Vorteile einer stärker philosophisch fundierten Begriffsbildung in der Möglichkeit, Annahmen über Kohärenz bzw. Inkohärenz bestimmter Überzeugungskonfigurationen zu formulieren, um sie dann empirisch zu untersuchen. Sie geben gleichzeitig zu bedenken, eine stärker philosophisch-wissenschaftstheoretische Ausdifferenzierung könnte Teilnehmende in entsprechenden Studien überfordern. Andere Studien dagegen orientieren sich weniger bis kaum an Konzepten der Philosophie.

Bezüglich des Zusammenhangs zwischen philosophischer und persönlicher Epistemologie sowie Lernen stellt Stahl (2011, S. 56) fest, Wissen im Bereich philosophischer Epistemologie könne durchaus starken Einfluss auf die individuelle persönliche Epistemologie haben. Solches Wissen wäre dann aber eine Art von Vorwissen, das aktiviert werden kann, wenn Individuen Aussagen beispielsweise im Hinblick auf ihre Sicherheit oder Veränderlichkeit bewerten. Solches Wissen sei jedoch nicht zwingend notwendig, um epistemische Urteile zu bilden.

Der Philosoph Richard F. Kitchener (2011) trägt mit seiner Analyse und dem Vergleich der Forschungsfelder der persönlichen Epistemologie und der traditionellen, philosophischen Epistemologie zur Abgrenzung der beiden Bereiche bei. Er bezeichnet Epistemologie als eines der Hauptfelder der Philosophie, welches sich im Laufe einer 2000-jährigen Tradition als Grund-

lage für die Ausbildung verschiedener epistemologischer Positionen in Philosophie und Wissenschaftstheorie entwickelte. Entsprechend schreibt er der Philosophie auch die Aufgabe zu, konzeptionelle Klärungen bezüglich Epistemologie vorzunehmen. Die Philosophie besitze mit den Werkzeugen und Methoden der Begriffsanalyse die passenden Instrumente zur Klärung dessen, was Epistemologie ist (S. 80).

Aufgrund des Unterschieds zwischen philosophischer und persönlicher Epistemologie ergeben sich für Kitchener auch Konsequenzen für die Terminologie. Gerade bezüglich der Verwendung der Begriffe *epistemologisch* und *epistemisch* sind nach Kitchener verschiedene Lesarten möglich. In einer Begriffsanalyse kommt er zu folgendem Ergebnis:

*“The term epistemology is the theory of the epistemic, logos being translated as ‘theory of, account of, or discourse about’. The logos part is at a higher level than the epistemic part since it is about the latter. So, assuming that there is knowledge, an account of it would be an epistemology. One could also call it an epistemic belief (a belief about the epistemic). If this is correct, then epistemic belief would be equivalent to epistemology.”* (Kitchener, 2011, S. 92)

Eine epistemische Überzeugung wäre demnach eine Überzeugung zum Wissen und entspräche dem Begriff „*Epistemologie*“. Im nächsten Schritt gibt Kitchener aber zu bedenken, eine „*epistemologische Überzeugung*“ wäre dann eine Überzeugung zur Epistemologie, also eine Überzeugung zur Theorie oder Lehre des Wissens und nicht zum Wissen selbst. Wenn jemand davon überzeugt sei, alles Wissen sei angeboren, dann handelt es sich um eine Überzeugung, die sich auf eine Theorie des Wissens bezieht und wäre damit annähernd epistemisch. Eine *epistemologische Überzeugung* dagegen befände sich auf einem höheren Niveau und entspräche einer Überzeugung zur Epistemologie. Solch eine Überzeugung bezieht sich nicht auf die Natur des Wissens, sondern auf die Natur der Epistemologie als Wissenschaft.

Eine weitere Verdeutlichung der Unterschiede zwischen epistemologisch und epistemisch erreicht Kitchener durch den Vergleich der Begriffe der epistemologischen bzw. epistemischen Entwicklung (*epistemological/epistemic development*). Er stellt die Frage, ob die in der Literatur häufig zu findenden Bezeichnungen „epistemische Entwicklung“ und „epistemologische Entwicklung“ dieselben Konzepte bezeichnen können. Dies verneint er, da sich epistemische Entwicklung auf die Entwicklung des Wissens bezieht, darauf, was man wissen kann. Dagegen versteht Kitchener unter *epistemologischer Entwicklung* die Beiträge verschiedener Wissenschaftler zur Theorie wissenschaftlichen Wissens in der Wissenschaftsgeschichte. Eine epistemologische Entwicklung entspräche einer zeitlichen Abfolge verschiedener erkenntnistheoretischer Positionen, wie z. B. Deduktivismus, Induktivismus, hypothetischer Deduktivismus, die die erkenntnistheoretischen Errungenschaften der Wissenschaftsgeschichte darstellen (S. 93). Ausgehend von Kitcheners Analyse ist der Begriff „epistemisch“ dem Begriff „epistemologisch“ bei der empirischen Untersuchung von Überzeugungen von Individuen zur Natur des Wissens und der Natur des Wissensprozesses vorzuziehen.

In dieser Arbeit wird deshalb folgende Terminologie verwendet: Das Forschungsfeld ist gekennzeichnet durch die empirische Untersuchung *persönlicher* Epistemologie, es ist also das Forschungsfeld *persönlicher Epistemologie* im Unterschied zur philosophischen Epistemologie. Forschungsgegenstand sind je nach konzeptioneller Ausrichtung *epistemische Überzeugungen*, *epistemische Entwicklung*, *individuelle epistemische Theorien*, *epistemische (Meta-) Kognition*, *epistemische Ressourcen* usw.

### 2.1.2 Domänen-, Disziplin- und Kontextabhängigkeit persönlicher Epistemologie

Eine wichtige konzeptionelle Frage ist, ob Individuen in unterschiedlichen Domänen, Disziplinen oder Kontexten verschiedene epistemische Überzeugungen haben bzw. ob sie Wissen jeweils unterschiedlich beurteilen. In der Forschung zur persönlichen Epistemologie wird dabei der Begriff „Domäne“ meist als Synonym für schulische bzw. akademische Disziplin gebraucht (vgl. Hofer, 2006; Limón, 2006). Jedoch wird der Begriff „Domäne“, orientiert an der entwicklungspsychologischen Tradition, in manchen Veröffentlichungen auf nichtakademische Bereiche, wie z. B. persönlicher Geschmack, Ästhetik oder Werte, angewandt (vgl. Hofer, 2006, S. 86–87). Zur Differenzierung akademischer und nichtakademischer Bereiche bei der Untersuchung persönlicher Epistemologie schlägt Limón (2006) vor, den Begriff „Domäne“ als Synonym für „Disziplin“ zu verstehen, wenn sich Untersuchungen im Rahmen schulischen bzw. akademischen Lernens bewegen. Hofer (2006) schlägt dagegen vor, eher den Begriff „Disziplin“ statt „Domäne“ zu verwenden, wenn es um die persönliche Epistemologie in schulischen und akademischen Feldern geht. Im Rahmen dieser Arbeit wird zum Teil der Begriff „Domäne“ dann gebraucht, wenn die Ansätze, auf die Bezug genommen wird, ebenso diese Nomenklatur nutzen. In allen Fällen sind dabei schulische und akademische Disziplinen gemeint. Im empirischen Teil dieser Arbeit wird zur Bezeichnung schulischer bzw. akademischer Bereiche der Begriff „Disziplin“ genutzt.

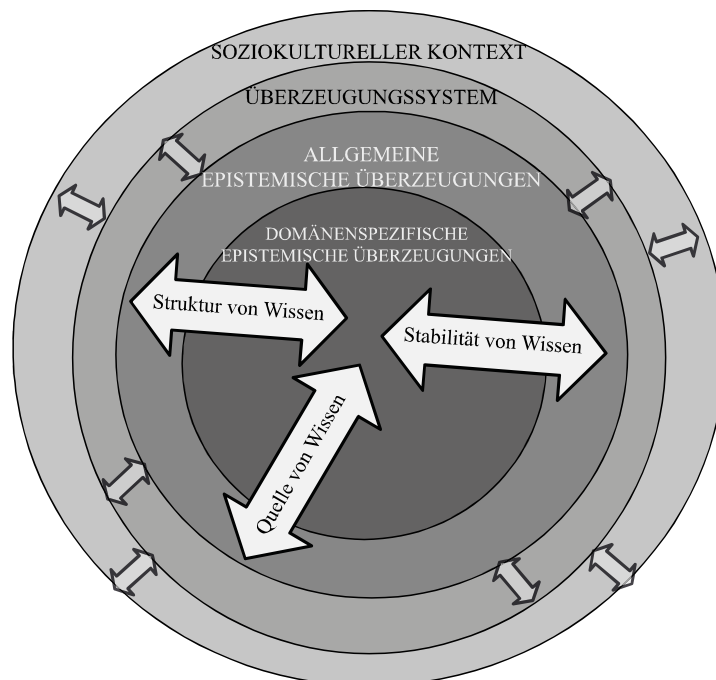
In den Anfängen der Forschung zur persönlichen Epistemologie wurde von der Domänenunabhängigkeit epistemischer Überzeugungen ausgegangen. Das heißt, dass epistemische Überzeugungen über verschiedene Domänen hinweg stabil sind. Hofer und Pintrich (1997) erklären die geringe Bedeutung der Domäne in frühen Beiträgen der Forschung zur persönlichen Epistemologie (z. B. Perry, 1970) damit, dass persönliche Epistemologie vor allem als Entwicklungsmodelle konzipiert waren und Entwicklung eher als unabhängig von Domänen angesehen wurde (S. 125). Die Klärung der Frage, ob epistemische Überzeugungen domänenübergreifend oder domänenspezifisch sind, sahen Hofer und Pintrich als eine wesentliche Aufgabe für die nachfolgende Forschung an (S. 111). In vielen sich anschließenden Studien (z. B. Hofer, 2000) konnten Hinweise für den domänenspezifischen Charakter epistemischer Überzeugungen gefunden werden.

Ausgehend von den Diskussionen um die Rolle der Domäne und des Kontexts äußern Elby und Hammer (2001) Kritik am weit verbreiteten Konsens im Forschungsfeld, der bestimmte epistemische Überzeugungen als „sophistiziert“ und andere als „naiv“ bezeichnet, ohne dass dabei

ausreichend Domäne und Kontext berücksichtigt werden. Sie halten es für nicht angebracht, wenn es beispielsweise nach dem Konsens im Forschungsfeld generell als eher sophistiziert angesehen wird, wenn Individuen wissenschaftliches Wissen als veränderlich und sich entwickelnd statt als beständig und unveränderlich beurteilen. Elby und Hammer bemängeln die fehlende aber nötige Unterscheidung zwischen *Korrektheit* und *Produktivität* epistemischer Überzeugungen in verschiedenen Kontexten. Eine Überzeugung ist nach ihrer Ansicht dann produktiv, wenn sie Verhalten, Einstellungen und Gewohnheiten produziert, die zum „Erfolg“ führen. Selbst wenn es „wahr“ sei, dass wissenschaftliches Wissen durch Menschen konstruiert werde, kann es trotzdem für Forscher und Lernende in bestimmten Kontexten nützlicher sein, Wissen als „entdeckt“ anzusehen (S. 555). Beispielsweise fördern im Kontext von wissenschaftlichen Untersuchungen solche realistischen Überzeugungen diejenigen Praktiken von Naturwissenschaftlern, in denen die intersubjektive Übereinstimmung betont wird. Nach Elby und Hammer können dabei Forscher je nach Kontext eher produktiv arbeiten und stabilere Ergebnisse erzielen, wenn sie Eigenschaften der Natur als von ihnen entdeckbar ansehen (S. 558). Die generelle Annahme, Wissen sei über alle Disziplinen und Kontexte hinweg veränderlich, sehen sie deshalb nicht nur als unproduktiv, sondern auch in bestimmten Kontexten als falsch an, da wissenschaftliches Wissen nicht gleichermaßen unsicher ist. Es wäre in beiden Fällen *naiv* oder *unsophistiziert*, davon auszugehen, die Quantenfeldtheorie sei besonders sicher bzw. das Wissen, die Erde sei rund, wäre im Vergleich dazu unsicher (S. 557).

Ein Modell zur Struktur epistemischer Überzeugungen, das die Wechselwirkung zwischen domänenübergreifenden und domänenspezifischen Überzeugungen erklärt, schlagen Buehl und Alexander (2006) auf Basis verschiedener Forschungsergebnisse vor. In ihrer Konzeption besitzen epistemische Überzeugungen ähnliche Eigenschaften wie das Wissen selbst. Mit Verweis auf Forschungsergebnisse der Kognitionspsychologie beschreiben sie Wissen als uneinheitliches Konstrukt, das mehrdimensional und mehrschichtig angelegt ist. Manches Wissen hat mehr Macht und Durchsetzungsvermögen als anderes Wissen. Vorwissen kann dabei in manchen Situationen Hilfe oder Hindernis sein. Buehl und Alexander sehen die Struktur epistemischer Überzeugungen analog zur Struktur des Wissens selbst und schreiben epistemischen Überzeugungen entsprechende Eigenschaften, wie z. B. Multidimensionalität, Mehrschichtigkeit, Interaktivität und Situiertheit/Kontextualität, zu (S. 29). Da verschiedene Arten des Wissens, wie z. B. Schulwissen, Alltagswissen oder unbewusstes Wissen, existieren, existieren demnach auch verschiedene Arten epistemischer Überzeugungen (S. 31). Epistemische Überzeugungen sind in Buehls und Alexanders Modell eingebettet in ein breiteres Überzeugungssystem. Die epistemischen Überzeugungen besitzen verschiedene Ebenen (Aspekt der Mehrschichtigkeit), die sich auf Wissen als übergreifendes Konstrukt oder auch auf spezifischere Arten des Wissens beziehen können (S. 32). Innerhalb dieser verschiedenen Ebenen können Individuen Überzeugungen zu verschiedenen Aspekten oder Dimensionen (multidimensionaler Aspekt) von Wissen besitzen. In dem Modell bestehen die Dimensionen Struktur (z. B. Wissen ist isoliert und aufgeteilt oder komplex und integriert), Stabilität (z. B. Wissen ist sicher und

unveränderlich oder veränderlich und sich entwickelnd) und Quelle (z. B. Wissen kommt von Autoritäten oder entwickelt sich durch schlussfolgerndes Denken und persönlicher Erfahrung). Diese Dimensionen existieren sowohl auf domänenübergreifender als auch auf domänenspezifischer Ebene. Epistemische Überzeugungen haben nach Buehl und Alexander interaktiven Charakter, da Überzeugungen verschiedener Ebenen miteinander, aber auch mit anderen Ebenen des Überzeugungssystems, interagieren können. In Abbildung 2.1 stehen die Pfeile für die verschiedenen Interaktionen zwischen epistemischen Überzeugungen und den unterschiedlichen Ebenen des Überzeugungssystems. Bezüglich der Entwicklung epistemischer Überzeugungen sehen Buehl und Alexander auch hier die Parallele zur Entwicklung von Wissen. Sie argumentieren, Wissen existiere nie in einem Vakuum. Vielmehr entwickelt es sich immer im soziokulturellen Rahmen bzw. findet seine Anwendung in kontextueller Abhängigkeit (S. 32–33). Folglich sehen Buehl und Alexander die Existenz epistemischer Überzeugungen in Zusammenhang mit (Inhalts-)Wissen, welches immer auch mit soziokulturellen Aspekten in verschiedenen Kontexten interagiert (S. 33).



**Abbildung 2.1:** Komplexe, multidimensionale und interaktive Charakteristik epistemischer Überzeugungen. Modell übersetzt nach Buehl und Alexander (2006, S. 30)

Die Entwicklung epistemischer Überzeugungen wird demnach immer in Abhängigkeit von der Entwicklung des (Inhalts-)Wissens gesehen, was das Modell von einem Entwicklungsmodell unterscheidet. Zusammenfassend lassen sich epistemische Überzeugungen nach Buehl und Alexander als komplex, mehrdimensional, interaktiv, soziokulturell/kontextuell beeinflusst und eng verbunden mit (Inhalts-) Wissen beschreiben (S. 39–40).

Empirische Hinweise auf die Bedeutung der Disziplin für die persönliche Epistemologie und die Diskussion über die Rolle des Kontexts für die Einordnung epistemischer Überzeugungen als sophistiziert bzw. naiv, führte zur verstärkten Berücksichtigung von Disziplin und Kontext

in der Forschung. Gerade jüngere Studien berücksichtigen in Forschungsdesign, Datenerhebung und Interpretation der Ergebnisse verstärkt den Kontextbezug persönlicher Epistemologie. Die Kontextualisierung von Studien bezieht sich dabei auf Aspekte unterschiedlicher Qualitäten, wie z. B. themenspezifischen Kontexten (z. B. Trautwein & Lüdtke, 2007), dem Kontext der Online-Recherche (z. B. Mason, Boldrin & Ariasi, 2010a, 2010b), „niedrig involvierenden“ Schulkontexten und „hoch involvierenden“ Alltagskontexten (z. B. Porsch & Bromme, 2011) sowie spezifischen Lernkontexten, wie z. B. dem Lernen mit unterschiedlichen Wissensrepräsentationen (z. B. Franco et al., 2012) oder dem Lesen von Texten mit konfligierenden Informationen (z. B. Bråten, Ferguson, Strømsø & Anmarkrud, 2013).

### 2.1.3 Generative Natur epistemischer Urteile

Im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile (Bromme et al., 2008; Stahl, 2011) werden Überlegungen zur Disziplin- und Kontextspezifität sowie zum Zusammenhang zwischen persönlicher Epistemologie und anderen Bereichen der Kognition aufgegriffen. Des Weiteren werden Erkenntnisse zur kognitiven Flexibilität aus der Kognitionspsychologie und der menschlichen Informationsverarbeitung heuristisch in Bezug zur Bildung epistemischer Urteile gesetzt.

Die Unterscheidung zwischen stabileren epistemischen *Überzeugungen* und kontext- oder themenspezifischen epistemischen *Urteilen* ist in diesem Ansatz wesentlich. Stahl (2011, S. 38–39) unterscheidet epistemische Überzeugungen von Urteilen, indem er epistemische Überzeugungen als relativ stabil beschreibt. Epistemische Urteile dagegen werden als flexible und kontextabhängige Beurteilungen von Wissen beschrieben, bei deren Bildung verschiedene kognitive Elemente, wie z. B. stabilere epistemische Überzeugungen, disziplin- oder themenspezifisches Fachwissen sowie Annahmen zur Ontologie, interagieren.

Bromme et al. (2008) und Stahl (2011) beziehen sich auf Erkenntnisse der Kognitiven Psychologie bei der Erklärung dessen, was sich bei der Bildung epistemischer Urteile in verschiedenen Kontexten vollzieht. In der Kognitiven Psychologie wurden in den 80er Jahren Theorien zu kognitiven Schemata oder Skripten modifiziert, um die kognitive Flexibilität, die Individuen in unterschiedlichen Kontexten zeigen, besser erklären zu können. So kamen beispielsweise Modelle auf, die davon ausgingen, Schemata seien nicht als etwas Ganzes komplett hinterlegt, sondern sie entstehen in angepassten Variationen durch die Aktivierung kleinerer Einheiten im jeweiligen Kontext (z. B. Autofahren im Stadtverkehr, Autofahren auf der Autobahn) (vgl. Bromme et al., 2008, S. 433–434). Bromme et al. stimmen mit Buehl und Alexander (2006) darin überein, dass epistemische Überzeugungen genauso komplex, multidimensional, mehrschichtig und interaktiv sind, wie das Wissen selbst. Sie sehen es ergänzend als fruchtbar an, bestehende Modelle der Kognitiven Psychologie als mögliche Heuristiken für die Erklärung der Bildung epistemischer Urteile zu nutzen. Aus diesem Verständnis heraus wären epistemische Überzeugungen je nach Kontext flexibel, da sie von generativer Natur sind und mit anderen kognitiven Elementen interagieren (vgl. Bromme et al., 2008, S. 434).



Stahl (2011) erklärt die Bildung epistemischer Urteile in Analogie zu Modellen der Theorie der Kognitiven Flexibilität (Jacobson & Spiro, 1995, zit. nach Stahl 2011, S. 39) und zur menschlichen Informationsverarbeitung (Grossberg, 1987, zit. nach Stahl, 2011, S. 40). Die Theorie der Kognitiven Flexibilität bezieht sich auf Lernszenarien, in denen der Wissenserwerb von fortgeschrittenen Lernern in komplexen Feldern gefördert wird. Ein fortgeschrittener Lerner muss dabei relevante und fallspezifische Wissenskomponenten aneinanderfügen, um Wissen in neuen Situationen anwenden zu können (Stahl, 2011, S. 39). Stahl stellt fest, dass kognitive Flexibilität in der Pädagogischen Psychologie eher als Ausnahme statt als Regel angesehen werde. Hilfreich für das Verständnis der Bildung epistemischer Urteile wäre dagegen, wenn die Flexibilität der kognitiven Prozesse bei der Erklärung der epistemischen Urteilsbildung konsequenter berücksichtigt wird (S. 39). Mit Bezugnahme auf Erkenntnisse aus Physiologie und Neurowissenschaften zur menschlichen Informationsverarbeitung erkennt Stahl in der Flexibilität des kognitiven Systems die nötige Voraussetzung für den Umgang an ständig wechselnden Informationen, die über das sensorische System hereinkommen und durch das System selbst erzeugt werden. Als Beispiel für den flexiblen Umgang mit sich ständig ändernden Informationen nennt Stahl das visuelle System. Im Ansatz von Grossberg (1987, zit. nach Stahl, 2011, S. 40) wird die visuelle Wahrnehmung als ein hochflexibler Prozess innerhalb des visuellen Systems beschrieben: *“To accomplish the impression of a ‘stable’ vision, processes of construction, adaptation, and the ability to deal with flexible contextual demands are necessities of sensory information processing. They are normal and not the exceptional case”* (Stahl, 2011, S. 40). Flexibilität wird in diesem Sinne als enorm wichtig für das kognitive System angesehen und ist von diesem Standpunkt aus die Regel und nicht die Ausnahme (S. 40–41). Diese grundlegenden Ideen kognitiver Flexibilität als Heuristik für die Erforschung der Mechanismen individueller epistemischer Urteilsbildung zu sehen, hält Stahl für fruchtbar (S. 41).

Im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile wird davon ausgegangen, dass bei der Bildung epistemischer Urteile je nach Disziplin und Kontext unterschiedliche kognitive Elemente aktiviert werden, die miteinander interagieren. Als wesentliche kognitive Elemente für die Urteilsbildung nennen Bromme et al. (2008) dabei neben stabileren, domänenunabhängigen epistemischen Überzeugungen vor allem disziplin- und kontextspezifisches Fachwissen und Annahmen zur Ontologie einer Disziplin (S. 429).

### *Fachwissen*

Für die angemessene Beurteilung von Wissen auf seine Gültigkeit und „Wahrhaftigkeit“ bedarf es eines Mindestmaßes an fach- und themenspezifischem Wissen. Ohne dieses Wissen zu einer bestimmten Disziplin bzw. zu einem spezifischen Thema kann ein Individuum nur schwer beurteilen, inwiefern es disziplin- oder themenspezifisches Aussagen für glaubhaft hält. Dabei kann sich Fachwissen auf verschiedene Aspekte einer Disziplin beziehen, beispielsweise auf einzelne thematische Bereiche oder auf die Kenntnisse der Methoden einer Disziplin. Als Beispiel nennen Bromme et al. (2008, S. 429) Individuen mit wenig Fachwissen in Physik, die

entsprechend auch wenig Wissen über die Methoden der Erkenntnisgewinnung in dieser Disziplin haben. Vorstellungen zum methodischen Vorgehen in der Physik beschränken sich dann möglicherweise auf das Messen von Quantitäten, wie z. B. von Masse und Temperatur. Diese Methoden werden als recht verlässlich und sicher angesehen und entsprechend würde ein Individuum mit solchen Vorstellungen Wissen in Physik als sicher und stabil beurteilen und dabei übersehen, dass es innerhalb der Physik auch Methoden gibt, die sich beispielsweise noch in ihrer Entwicklung befinden und entsprechend unsicherer als andere Methoden sind.

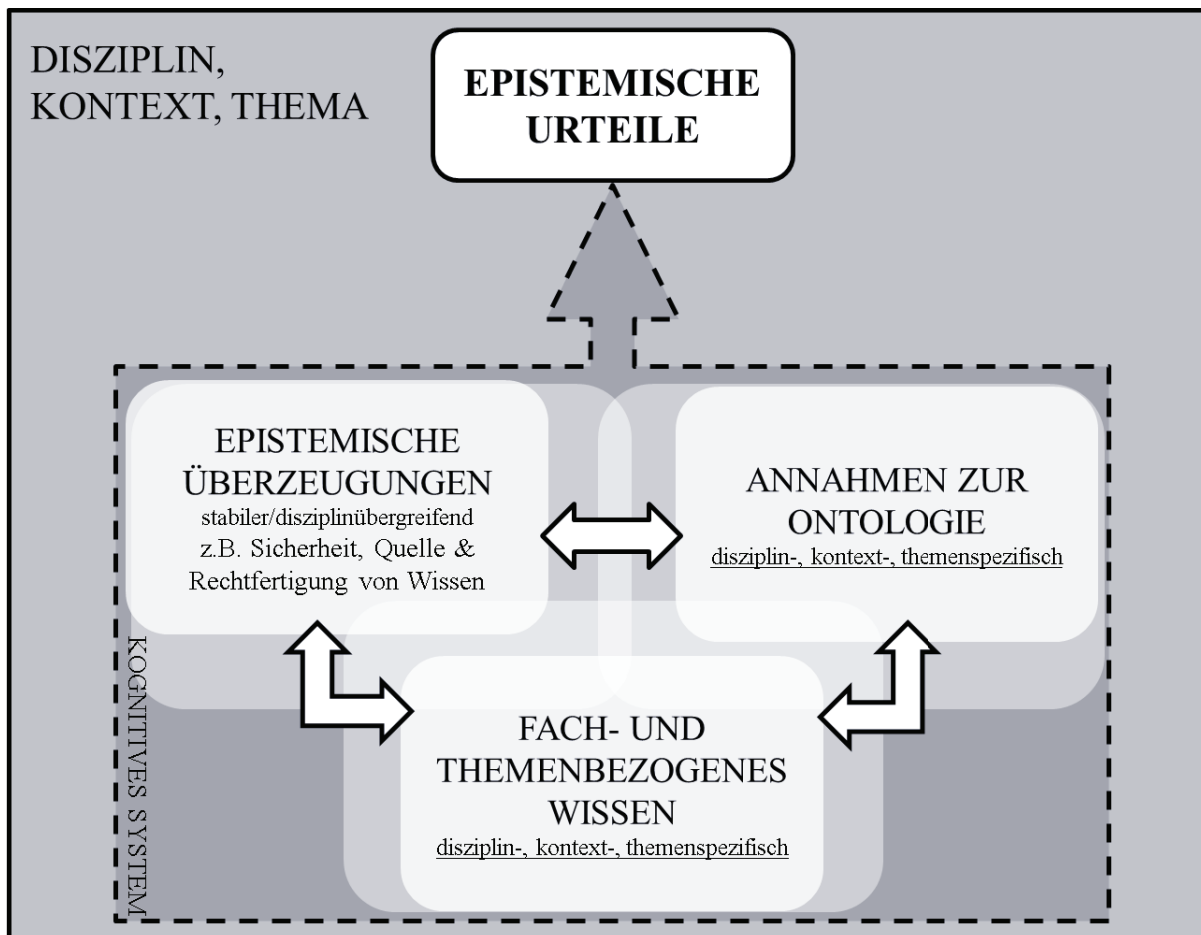
#### *Individuelle Annahmen zur Ontologie der Disziplin/des Themas*

Ontologie (Seinslehre) ist eine Disziplin der Philosophie und bezieht sich auf „(...) die Lehre vom Seienden in seinem Sein, bzw. vom Sein des Seienden“ (Sandkühler, 2002, S. 1140). Aus philosophischer Perspektive würde beispielsweise der wissenschaftstheoretischen Position des „naiven Realismus“ die ontologische These zu Grunde liegen, es gäbe eine Wirklichkeit, *„die in ihrer Existenz wie Beschaffenheit unabhängig davon ist, ob und wie sie von uns Menschen erfahren wird“* (Brülisauer, 2008, S. 207).

Im Rahmen der persönlichen Epistemologie beziehen sich Annahmen zur Ontologie, ähnlich wie in der Philosophie, auf die persönlichen Annahmen der Seinsweisen bestimmter Dinge. So stellt sich beispielsweise die Frage, ob Entitäten, wie z. B. „Angst“, „Motivation“, „Naturgesetze“ oder „Atome“ auf gleiche Weise existieren oder ob sie je nach disziplineigener Perspektive in verschiedenen Seinsweisen vorliegen? Je nach sozialwissenschaftlicher oder naturwissenschaftlicher Perspektive bestehen bezüglich der genannten Begriffe Unterschiede in der Ontologie.

Abbildung 2.2 veranschaulicht in einer schematischen Darstellung, wie im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile die Bildung epistemischer Urteile durch die Aktivierung und Interaktion verschiedener kognitiver Elemente beschrieben wird.

Die Bewertung von epistemischen Überzeugungen bzw. Urteilen als mehr oder weniger sophisticated kann nach Bromme et al. nicht unabhängig von der Berücksichtigung des Kontexts erfolgen. Sie verweisen auf Studien, die zeigen, dass forschende Wissenschaftler teilweise Ansichten vertreten, die als wenig sophisticated gelten. Für die tägliche Arbeit eines Forschers wäre es beispielsweise wenig sinnvoll, wenn er ständig auf die zugrunde liegenden Annahmen zur Ontologie der Disziplin Bezug nehmen und davon ausgehend die Erkenntnissicherheit jedes einzelnen Arbeitsschrittes hinterfragen würde (S. 432). Bromme et al. (2008, S. 432) schlagen deshalb vor, diejenigen epistemische Überzeugungen als sophisticated anzusehen, die kontextsensible Urteile zulassen.



**Abbildung 2.2:** Epistemische Beurteilung von Wissen im Rahmen des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile

## 2.2 Bedeutung

Das Forschungsfeld der persönlichen Epistemologie hat ursprünglich vor allem für Entwicklungspsychologen und Pädagogische Psychologen hohe Bedeutung. Entwicklungspsychologen interessieren sich dafür, wie sich im Laufe der Zeit das individuelle epistemische Verständnis entwickelt. Die Pädagogische Psychologie untersucht, wie epistemische Überzeugungen kognitive Prozesse beeinflussen.

In den letzten 20 Jahren gewann die Erforschung domänenspezifischer epistemischer Überzeugungen auch zunehmende Bedeutung in den Fachdidaktiken, besonders in der Mathematik und der Naturwissenschaftsdidaktik (vgl. Hofer, 2008, S. 5). In den Fachdidaktiken standen lange Zeit vor allem die epistemischen Überzeugungen von Schülerinnen und Schülern im Fokus des Interesses, da von einem Einfluss der epistemischen Überzeugungen auf das Fachverständnis, der Verarbeitungstiefe und den fachlichen Leistungen ausgegangen wurde (vgl. Baumert & Kunter, 2013, S. 311). Davon ausgehend wurde auch immer mehr die Bedeutung der persönlichen Epistemologie für die Lehrerprofessionalisierung erkannt (vgl. Gruber & Stamouli, 2015, S. 26–27). Die grundlegende Bedeutung, die epistemischen Überzeugungen im Kontext pädagogischer Arbeiten zukommt, wird deutlich, wenn angenommen wird, „dass diese intuitiven Theorien die Art der Begegnung mit der erkennbaren Welt vorstrukturieren. Sie beeinflussen

*Denken und Schlussfolgern, Informationsverarbeitung, Lernen und Motivation*“ (Köller, Baumert, Neubrand 2000, zit. nach Baumert & Kunter, 2013, S. 310).

Die besondere Bedeutung epistemischer Überzeugungen für das Lernen und für Verstehensprozesse hat Schommer (1990) erstmals deutlich herausgearbeitet. Sie konnte anhand von Experimenten zeigen, dass epistemische Überzeugungen beispielsweise signifikante Effekte auf das Verstehen und Lernen haben und dass epistemische Überzeugungen durch Elternhaus und Erziehung beeinflusst werden (S. 503).

Studien deuten darauf hin, dass Lehrkräfte mit ihren eigenen epistemischen Theorien durch die Gestaltung ihres Unterrichts die persönliche Epistemologie ihrer Schülerinnen und Schüler im Unterricht beeinflussen (Hofer, 2001, S. 372). Lehrkräfte werden entsprechend als Schlüssel für die Anbahnung und Förderung angemessener epistemischer Überzeugungen bei ihren Schülerinnen und Schülern in Schule und Unterricht angesehen (z. B. Haerle & Bendixen, 2008, S. 170). Davon ausgehend rückt zunehmend die persönliche Epistemologie von Lehrerinnen und Lehrern in den Fokus empirischer Bildungsforschung. Beispielsweise werden im Rahmen der COACTIV-Studie epistemische Überzeugungen als Teil eines komplexen Überzeugungssystems verstanden, die neben dem Wissen der Lehrkraft eine zentrale Komponente professioneller Kompetenz darstellen (vgl. Voss, Kleickmann, Kunter & Hachfeld, 2011, S. 254). Entsprechend wächst auch die Bedeutung der persönlichen Epistemologie für die Lehrerprofessionalisierung, da sich epistemische Überzeugungen auf Wahrnehmung und Motivation der zukünftigen Lehrkräfte sowie ihrer Unterrichtsziele und ihrem beruflichen Selbstverständnis auswirken und sich im Laufe der Ausbildung unterschiedlich entwickeln können (vgl. Cramer, 2012, S. 43).

### 2.2.1 Überfachliche Einordnung

In der kognitionspsychologischen Forschung werden epistemische Überzeugungen als Teil der Kognition oder Metakognition angesehen, die je nach Ausprägung Lernen und Wissenserwerb beeinflussen. Epistemische Überzeugungen agieren nach dieser Auffassungen wie eine Linse, durch die die Lernenden die zu bewältigenden Aufgaben und damit auch das anzueignende Wissen unterschiedlich verstehen. Epistemische Überzeugungen können beeinflussen, wie ein Lernender Informationen verarbeitet bzw. was er oder sie von Wissen, Unterricht oder den Lehrenden erwartet (vgl. Bromme & Pieschl et al., 2010). Entsprechend zeigen sich in verschiedenen (Lern-)Kontexten Zusammenhänge mit diversen Aspekten von Lernen und Informationsverarbeitung. Beispielsweise haben epistemische Überzeugungen Bedeutung für die Bewältigung von Prozessen des selbstregulierenden Lernens und den daraus resultierenden Lernergebnissen in hochkomplexen Kontexten (vgl. Pieschl et al., 2013).

Gerade bezüglich des Umgangs mit verschiedenen Informationsquellen, wie z. B. bei der Nutzung von Online-Medien, kommt epistemischen Überzeugungen eine wichtige Rolle zu. So konnten beispielsweise Mason et al.; Mason et al. (2010a; 2010b) den Zusammenhang zwischen dem Lernen mit verschiedenen Online-Quellen und der epistemischen Metakognition nachweisen. Zum einen beeinflussten die disziplinspezifischen epistemischen Überzeugungen in der

Dimension Rechtfertigung den Lernerfolg im Umgang mit Internet-Quellen. Lernende, die multiple Online-Quellen auf ihre wissenschaftliche Evidenz miteinander verglichen und dieses Wissen rechtfertigten, erzielten bessere Lernergebnisse zum Thema. Zum anderen fanden Mason et al. Hinweise dafür, dass ein hohes Maß an Selbstregulierung im Umgang mit multiplen Online-Quellen dabei hilft, förderliche epistemische Überzeugungen bei der Auswertung der Informationen zu aktivieren.

Richter (2011) erkennt die Notwendigkeit der epistemischen Validierung bei der Überprüfung von Informationen aus verschiedenen Quellen. Unter epistemischer Validierung versteht er die aktive und strategische Überprüfung hereinkommender Informationen im Abgleich mit zuvor erworbenem Wissen und Überzeugungen. Er geht davon aus, dass Lernende in Prozessen der epistemischen Validierung konfligierende Informationen in einer epistemischen Verarbeitung miteinander vergleichen und Inkonsistenzen aktiv unter Einbezug des Vorwissens auflösen können (vgl. Richter & Maier, 2014). Bråten et al. (2013) halten die Bewertung und Beurteilung verschiedener Quellen mit konfligierenden Informationen wesentlich für das Textverständnis und erkennen die Zusammenhänge zu Kompetenzen, die für die Informationsgesellschaft wichtig sind, wie beispielsweise die Suche, Auswahl, Verarbeitung und Integration von Informationen aus multiplen Dokumenten (*new literacy competencies*). Kammerer, Amann und Gerjets (2015) konnten in einer Studie mit Erwachsenen, die eine nicht-universitäre Ausbildung absolviert haben, ebenso die Bedeutung internetspezifischer epistemischer Überzeugungen für den außerakademischen Bereich aufzeigen. Bei der Online-Suche nach Informationen zu einem für die Studienteilnehmenden unbekannten Thema des Kontexts „Gesundheit“ hielten sich diejenigen Studienteilnehmenden am längsten auf verlässlichen Webseiten (Seiten offizieller Institutionen) auf, die davon überzeugt waren, dass Wissen aus dem Internet kritisch überprüft und mit anderen Quellen abgeglichen werden sollte. Weniger Zeit verbrachten sie dagegen auf weniger verlässlichen Seiten (z. B. Forumsbeiträge) oder Seiten kommerzieller Anbieter. Demnach sind auch im außerschulischen und außeruniversitären Kontext diejenigen epistemischen Überzeugungen für die Internet-Recherche von Vorteil, die die Benutzung mehrerer Quellen zur Rechtfertigung konkurrierender Geltungsbehauptungen beinhalten.

Wie die hier exemplarisch dargestellten Ergebnisse zum Umgang mit multiplen Texten bzw. Quellen zeigen, erscheint die Auswahl und Bewertung verschiedener Informationsquellen sowohl in Schul- und Bildungskontexten als auch außerhalb von Schule und Hochschule als eine wichtige Facette Digitaler Bildung (digital literacy), bei der epistemische Überzeugungen von großer Bedeutung sind (vgl. auch Porsch & Bromme, 2011).

In diesem Zusammenhang zeichnen sich die gesellschaftliche Bedeutung von Wissenschaftsverständnis sowie die Wichtigkeit angemessener epistemischer Überzeugungen ab. In den modernen Wissensgesellschaften besteht eine hohe Spezialisierung. Darum bedarf es angemessener epistemischer Überzeugungen, um Informationen zu einem Thema auf ihren Wahrheitsgehalt und ihre Gültigkeit zu beurteilen. Die hohe Spezialisierung und die besonderen Umstände der Weitergabe von Wissen durch Experten führen zu einer ungleichen Verteilung und Nutzung

von Wissen in modernen Gesellschaften. Es besteht eine *kognitive Arbeitsteilung* (Bromme, Kienhues & Porsch, 2010), die dazu führt, dass das lebenslang erworbene Wissen nicht primär aus eigener Erfahrung, sondern aus Erfahrungen, Überlegungen und Analysen anderer stammt. Anfänglich sind es eher Eltern und Peergruppe, später Lehrer und Medien, die Wissen vermitteln (Bromme & Kienhues et al., 2010, S. 164). Für die Überprüfung des Wahrheitsgehalts von Geltungsbehauptungen bedarf es disziplinspezifischen Fachwissens, um beispielsweise die Richtigkeit einer Aussage zu überprüfen. Diese direkte Überprüfung gelingt jedoch nur, wenn ein Individuum über Expertenwissen verfügt. Über dieses Wissen verfügen Laien in vielen Zusammenhängen des alltäglichen Lebens nicht, wenn es beispielsweise darum geht, medizinische, rechtliche oder wirtschaftliche Entscheidungen zu treffen. Deshalb geht es bei der Beurteilung von Wissen häufig nicht um die Frage, welche Wissensäußerungen *wahr* und relevant sind, sondern welche Wissensquellen *verlässlich* und relevant sind (S. 170).

Bezüglich der Bedeutung einer informierten Öffentlichkeit in der Wissensgesellschaft sehen Bromme und Kienhues (2014) Wissenschaftskommunikation als ein fruchtbares Anwendungs- und Forschungsfeld der Pädagogischen Psychologie an, bei dem es beispielsweise darum geht, der Öffentlichkeit in außerschulischen Lernorten ein angemessenes Wissenschaftsverständnis zu vermitteln.

### 2.2.2 Fachliche Einordnung

Ein großer Teil der disziplinspezifischen Studien zu persönlicher Epistemologie bzw. Wissenschaftsverständnis beziehen sich auf die Naturwissenschaften oder die Mathematik (vgl. Baumert & Kunter, 2013). Über den Zusammenhang von (epistemischen) Überzeugungen und dem Lernen in anderen Disziplinen, wie z. B. den Sprachen, ist dagegen vergleichsweise wenig bekannt (vgl. Trautmann, 2005, S. 49).

Schon Anfang der 1980er Jahre erkannte Schoenfeld (1983) die Bedeutung von Überzeugungen, sozialer Kognition und Metakognition für Lernprozesse in der Mathematik. Ebenso hielt er die persönliche Epistemologie bezüglich mathematischen Wissens als bedeutsam für das mathematische Denken und damit auch die epistemischen Haltungen der Lehrkräfte als entscheidend für die Gestaltung des Mathematikunterrichts (Schoenfeld, 1992).

Die Herausstellung der Bedeutung epistemischer Vorstellungen bzw. Überzeugungen für das Wissenschafts- bzw. Fachverständnis in Mathematik und den Naturwissenschaften erfolgte in der deutschsprachigen Bildungsforschung vor allem durch die TIMSS-Studien zu Beginn der 2000er Jahre, welche im Unterschied zu den PISA-Studien stärker auf fachliches Wissen und Können im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich ausgerichtet waren (vgl. Klieme & Baumert, 2001, S. 7). Epistemische Vorstellungen von der konstruktiven Natur der Naturwissenschaften sowie Kenntnisse ihrer Stärken und Grenzen werden als eine Dimension naturwissenschaftlicher Grundbildung genannt (vgl. Baumert, Klieme & Bos, 2001, S. 21). Mit Blick auf das Ende der Schulzeit stellen Baumert et al. fest, die Vermittlung angemessener epistemi-

scher Überzeugungen sei ein zentrales Anliegen des Oberstufenunterrichts, das vor der Jahrtausendwende zumindest in der deutschsprachigen Bildungsforschung vernachlässigt wurde. Epistemische Überzeugungen werden nicht nur instrumentell im Sinne einer lernförderlichen Komponente verstanden, ihnen wird auch eine bildungstheoretische Bedeutung zugeschrieben, da die intuitiven Vorstellungen von Wissen und Wissensgenese Antworten auf die Fragen nach Legitimität der Fragestellungen, Grenzen und Erkenntnissicherheit einer Disziplin geben. In diesem Sinne werden epistemische Überzeugungen als wesentlicher Bestandteil der mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundbildung angesehen, deren Vermittlung durch Veränderung von Unterrichtsroutinen und den zu Grunde liegenden epistemischen Strukturen erreicht werden kann (vgl. Baumert et al., 2001, S. 39–40).

Die Naturwissenschaftsdidaktik, die in den letzten 20 Jahren immer mehr die Bedeutung der persönlichen Epistemologie als wichtigen Einflussfaktor auf das Lehren und Lernen der Naturwissenschaften erkannte, untersuchte epistemische Überzeugungen sowohl disziplinspezifisch in Physik, Biologie oder Chemie separat oder domänenübergreifend über die einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen hinweg. Die folgenden Beispiele illustrieren die Bedeutung epistemischer Überzeugungen für die fachdidaktische Forschung und den naturwissenschaftlichen Unterricht:

- Disziplinspezifische epistemische Überzeugungen von Lehramtsstudierenden haben Einfluss auf Motivation, Selbstkonzept und Lernstrategien in Biologie (Urhahne, 2006).
- Disziplinbezogene epistemische Überzeugungen von Schülerinnen und Schülern in Physik sind Prädiktoren für das konzeptuelle Fachverständnis (Stathopoulou & Vosniadou, 2007).
- Epistemische Überzeugungen sind Mediatoren für naturwissenschaftliches Argumentieren. Umgekehrt kann wissenschaftliches Argumentieren/wissenschaftliche Beweisführung bei der Förderung bestimmter epistemischer Haltungen hilfreich sein (Yang & Tsai, 2010).
- Domänenspezifische epistemische Überzeugungen von Lehrkräften beeinflussen deren Gestaltung und Durchführung von naturwissenschaftlichem Unterricht (Tsai, 2002).
- Domänenspezifische epistemische Überzeugungen beeinflussen Schülerinnen und Schüler beim Lernen von kontrovers diskutierten Themen im naturwissenschaftlichen Unterricht (Southerland, Golden & Enderle, 2012).

In der Forschung zur persönlichen Epistemologie aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive zeigt sich in Teilen auch die Nähe zum Forschungsfeld von Nature of Science. Dementsprechend werden in der NOS-Forschung Erkenntnisse sowohl zur domänen- und disziplinspezifischen als auch zur domänenübergreifenden persönlichen Epistemologie aufgegriffen und berücksichtigt, wie z. B. die Arbeiten von Hammer und Elby (2003) (vgl. Deng, Chen, Tsai & Chai, 2011). Einzelne Studien weisen auf den Zusammenhang zwischen epistemischen Überzeugungen und Ansichten zu Nature of Science hin (z. B. Carey & Smith, 1993; Tsai, 2002).

## 2.3 Offene Probleme

Wie das vorangegangene Teilkapitel gezeigt hat, besteht in Bildungsforschung und Fachdidaktik einerseits zwar Konsens über die Bedeutung der persönlichen Epistemologie für Lern- und Verstehensprozesse. Andererseits erscheinen epistemische Überzeugungen als „eine geheimnisvolle Sache“ (Gruber & Stamouli, 2015, S. 26), was auch damit zu tun hat, dass noch viele offene Probleme und Fragen im Forschungsfeld der persönlichen Epistemologie bestehen. Zunächst werden im Folgenden die offenen Probleme überblicksartig vorgestellt, um danach auf einzelne, für diese Arbeit bedeutsame Aspekte einzugehen.

Briell et al. (2011) konnten in ihren Untersuchungen und Analysen von 151 Studien zur persönlichen Epistemologie zeigen, dass das Forschungsfeld mit grundlegenden Sachverhalten, die Terminologie, Konzeptualisierung sowie Messmethoden betreffen, hartnäckig und beständig ringt. Wie schon in Kapitel 2.1 aufgezeigt, erkennen Briell et al. eine Vielzahl unterschiedlicher Begriffe und Definitionen, die im Forschungsfeld genutzt werden. Dies führt zum Teil zu großer Verwirrung, da ähnliche Bezeichnungen unterschiedliche Bedeutungen haben und umgekehrt unterschiedliche Bezeichnungen Ähnliches bedeuten können (S. 9-10). Die Vielfalt in der Nomenklatur hängt zusammen mit unterschiedlichen Konzeptualisierungen persönlicher Epistemologie. In ihrer Analyse klassifizieren Briell et al. die untersuchten Konstrukte in drei Hauptkategorien ein. Sie unterscheiden zwischen konzeptorientierten und prozessorientierten Konstrukten sowie Konstrukten, die eine Mischform aus beiden Konzeptualisierungen darstellen (S. 10). Der Großteil der untersuchten Studien (73%) wird den rein konzeptorientierten Ansätzen zugerechnet. Diese Studien beziehen sich auf abstrakte Konzepte und untersuchen die Frage, in welcher kognitiven Form, welchem Status und welchem Umfang die persönliche Epistemologie existiert. Zu den konzeptorientierten Ansätzen rechnen Briell et al. sowohl Stufen- und Entwicklungsmodelle, als auch Konzepte, die von einer eher theorieartigen (vgl. Hofer & Pintrich, 1997) oder ressourcenartigen (vgl. Hammer & Elby, 2002) Struktur ausgehen. Im Unterschied zu den konzeptorientierten Ansätzen beziehen sich die rein prozessorientierten Ansätze auf die Frage, wie Individuen zu Wissen kommen. Dabei unterscheiden sich die Ansätze innerhalb dieser Kategorie wiederum stark.

Neben den ungeklärten Fragen bezüglich Nomenklatur und Konzeptualisierung erkennen Briell et al. (2011) eine wesentliche offene Problemstellung im Hinblick auf die verschiedenen Zugänge bei der Messung epistemischer Überzeugungen. In den untersuchten Studien erkennen sie u.a. die folgenden Cluster an unterschiedlichen Messmethoden:

- **Cluster I: Likert-artige Messung von ein- oder mehrdimensionalen Positionen** (der größte Teil der von Briell et al. analysierten Studien ist dieser Gruppe zuzurechnen)
- **Cluster II: Direkte Fragen zur Natur des Wissens** (oft in halbstrukturierten Interviews durchgeführt)
- **Cluster III: Messung von Urteilen zu Aussagen und Behauptungen:** (z. B. zu Kontroversen oder konfligierenden Informationen)

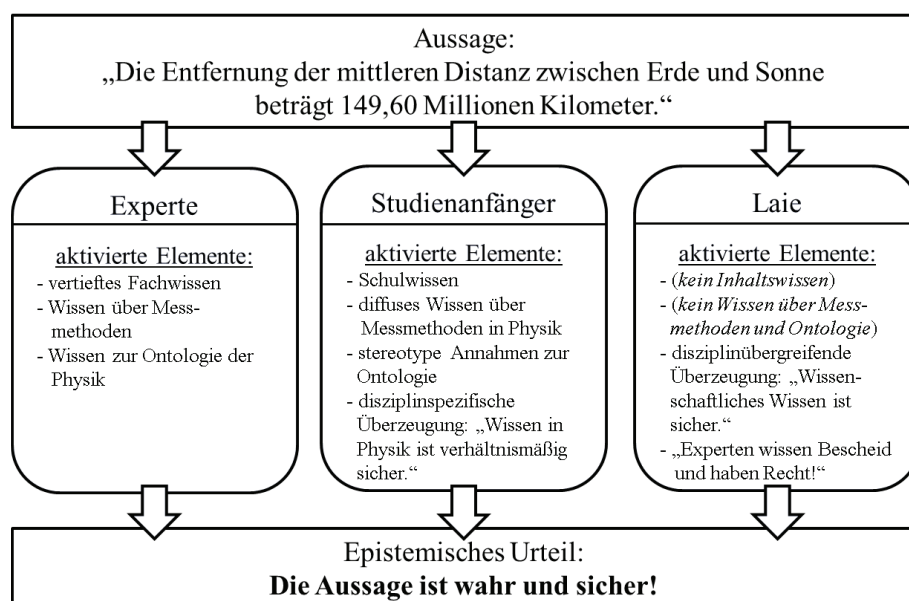


- **Cluster IV: Messung salienter Bedeutungsgebung:** Studienteilnehmende erklären in eigenen Worten, wie sie bedeutsame Erlebnisse oder Entscheidungen und deren Auswirkungen auf ihr Denken interpretieren

Die verschiedenen Messmethoden implizieren unterschiedliche Zugänge zu den epistemischen Überzeugungen. Bei den Messmethoden der Cluster I, III und IV wird davon ausgegangen, dass nur indirekt auf implizite epistemische Überzeugungen geschlossen werden kann, wohingegen durch Messinstrumente des Clusters II epistemische Überzeugungen direkt gemessen werden können und auf weitere implizite Überzeugungen geschlossen werden kann (S. 20-28).

Als fundamentales Problem der Forschung sehen Briell et al. den Umstand, dass es schwierig zu beurteilen ist, ob die verschiedenen Messinstrumente gleichermaßen effektiv bei der Erhebung der selben Konstrukte sind bzw. ob die unterschiedlichen Messmethoden überhaupt die gleichen Konstrukte erheben. *“Because epistemological beliefs are normally regarded to be implicit, inferential methods are requisite and must depend on accurately interpreting the visible manifestations of the underlying cognitive structures”* (Briell et al., 2011, S. 28).

Bezüglich der Praxis bei Erhebung, Analyse und Interpretation von Daten kritisiert Stahl (2011, S. 49) die Methoden vieler Studien im Forschungsfeld. Er begründet dies aus der Perspektive des Ansatzes der generativen Natur epistemischer Urteile (siehe Kapitel 2.1.3.) mit der individuellen und flexiblen Aktivierung kognitiver Elemente bei der kontextbezogenen Beurteilung von Wissen. Zur Illustration der methodischen Schwierigkeiten führt er folgendes Beispiel an: Drei Personen, eine Physikexpertin, eine Physikstudierende im ersten Semester und ein uninteressierter Laie, beurteilen die Sicherheit der Aussage, die mittlere Entfernung zwischen Erde und Sonne betrage 149,6 Millionen Kilometer. Bei der Bildung eines epistemischen Urteils zu dieser Aussage aktivieren die drei Personen ganz unterschiedliche kognitive Elemente und kommen trotzdem zum gleichen Urteil, was in Abbildung 2.3 visualisiert ist.



**Abbildung 2.3:** Beispiel für die Bildung gleicher epistemischer Urteile bei Aktivierung unterschiedlicher kognitiver Elemente (Abbildung nach Stahl, 2011, S. 49–50)

Die Expertin aktiviert ihr profundes Fachwissen, ihr Wissen über die Messmethoden und wie sich diese im Laufe der Forschungsgeschichte immer weiter verfeinerten sowie Annahmen zur Ontologie zur Physik und kommt auf Basis dieser Elemente zu dem Urteil, die Aussage sei „wahr und sicher“. Die Physikstudierende im ersten Semester aktiviert dagegen andere kognitive Elemente bei der Beurteilung der Aussage. Sie kann auf Schulwissen zurückgreifen, hat jedoch kein genaues Wissen über die Messmethoden, mit denen die Abstände zwischen Himmelskörpern gemessen werden und verfügt über relativ stereotype Annahmen zur Ontologie der Physik. Im Laufe ihrer Schulzeit hat sie die stabile epistemische Überzeugung entwickelt, Physik als Disziplin generiere im Vergleich zu anderen Fächern verhältnismäßig sicheres Wissen. Entsprechend kommt sie auch zu dem Urteil, die Aussage sei „wahr und sicher“. Der uninteressierte Laie hat kein Fachwissen zum Thema, keinerlei Wissen über die Methoden und zur Ontologie der Disziplin und nur sehr oberflächliche disziplinspezifische epistemische Überzeugungen. Er aktiviert deshalb seine domänenübergreifende Überzeugungen zur Sicherheit von Wissen in der Wissenschaft und zur Verlässlichkeit von Experten auf diesem Gebiet und kommt ebenso zu dem Urteil, die Aussage sei „wahr und sicher“.

In einem Fragebogen mit Ratingskalen, wie sie bei der Messung epistemischer Überzeugungen häufig eingesetzt werden, könnten alle drei Personen die gleiche Antwort geben: die Aussage ist wahr und sicher. Stahl kommt zu dem Schluss, es sei falsch, solch gleiche Antworten auf einer Ratingskala als Ausdruck gleicher epistemischer Überzeugungen zu werten. Im Kontext der Aussage sollten Invarianzen oder Varianzen epistemischer Urteile vielmehr als Ergebnis der Aktivierung unterschiedlicher kognitiver Elemente und deren Interaktion verstanden werden (S. 51–53). Die teils divergierenden Forschungsergebnisse im Forschungsfeld persönlicher Epistemologie lassen sich unter dieser Perspektive besser verstehen, wenn beispielsweise, wie hier dargestellt, zur Erreichung des gleichen Ergebnisses verschiedene Wege möglich sind (vgl. auch Bromme et al., 2008, S. 431). Umgekehrt könnten je nach Kontext und Aktivierung kognitiver Elemente auch eine schwer zu interpretierbare Fülle an unterschiedlichen epistemischen Urteilen sichtbar werden (Stahl, 2011, S. 49–50). Aus der Perspektive des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile gibt Stahl (2011) zu bedenken, die quantitativen Methoden in den meisten Studien im Forschungsfeld seien in der Lage, epistemische Urteile, aber nicht epistemische Überzeugungen zu erheben und zu analysieren (S. 51).

Eine weitere Erklärung für das Auftreten von Inkonsistenzen bei der Erhebung persönlicher Epistemologie findet sich in der zu geringen Berücksichtigung kontextueller Aspekte bei Erhebung und Interpretation der Daten. Diesbezüglich geben Elby und Hammer (2001) zu bedenken, dass Studienteilnehmende bei der disziplinunabhängigen Erhebung selbst implizit Kontext an die gestellten Fragen „anheften“. Studienteilnehmer/innen assoziieren bei Fragen, wie z. B. *„Können verschiedene Wissenschaftler durch Experimente zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen kommen?“* jeweils unterschiedliche Disziplinen oder Kontexte. Wenn nicht nachgefragt wird, warum Individuen bestimmte Antworten geben, bleibt es ungeklärt, welche Kontexte sie mit ihren epistemischen Haltungen verbinden (S. 561–563). Aus dieser methodischen Kritik

erwächst auch die Ablehnung der übergeneralisierenden Interpretation und Einordnung dessen, was als „sophistizierte“ oder „naive“ epistemische Überzeugungen anzusehen ist (S. 565).

Trautwein und Lüdtke (2007) konnten Belege für den engen Zusammenhang zwischen epistemischen Überzeugungen und themenspezifischem Kontext finden. In einer Studie mit Schülern und Studierenden erhoben sie Ansichten zur „Kerndimension“ Sicherheit (vgl. Trautwein & Lüdtke, 2007, S. 909). Dafür nutzten sie sowohl themenspezifische als auch dekontextualisierte Items. Die dekontextualisierten Items stammten aus häufig in der Forschung genutzten Instrumenten von Schommer und Hofer. Die Ergebnisse zeigten, dass Überzeugungen zur Sicherheit von Wissen stark themenspezifisch sind. Deshalb plädieren Trautwein und Lüdtke für einen themenspezifischen Ansatz bei der Erhebung epistemischer Überzeugungen, da die dekontextualisierte, abstrakte Itemformulierung den Studienteilnehmern viel Interpretationsspielraum lässt und so die Varianz der Ergebnisse erhöht wird (S. 927).

Aus der Methodenkritik ergeben sich für Bromme et al. (2008) und Stahl (2011) verschiedene methodische Implikationen für die Messung und Interpretation der Daten im Forschungsfeld der persönlichen Epistemologie. Kognitive Elemente, die bei der Bildung epistemischer Urteile beteiligt sind, wie z. B. themenspezifisches Wissen und individuelle Annahmen zur Ontologie einer Disziplin, sollten separat erhoben werden. Dies könnte beispielsweise durch Kombination verschiedener Erhebungsinstrumente, die die unterschiedlichen Konstrukte messen, erreicht werden (Bromme et al., 2008; Stahl, 2011). Des Weiteren sollten die kognitiven Prozesse auf einer feineren Ebene, etwa mit Hilfe von Beobachtung und Interviews, erfasst werden. Insgesamt bedarf es neuer Forschungsdesigns, in denen beispielsweise Versuchsteilnehmer bezüglich bestimmter kognitiver Elemente (z. B. Vorwissen) gruppiert werden (z. B. nach Laien, Anfängern und Experten). Studienteilnehmer/innen könnten mit Serien verschiedener Aussagen konfrontiert werden, die systematisch variiert werden. Vertiefende Interviewtechniken können genutzt werden, um festzustellen, wie sich verschiedene epistemische Urteile im Verhältnis zu Vor- bzw. Fachwissen, zum Kontext, zur Aufgabe usw. verhalten (Stahl, 2011, S. 52–53).

Bezüglich der Interpretation der erhobenen Daten kritisiert Stahl, es werden viel zu oft voreilige Schlüsse gezogen. Wenn beispielsweise Erhebungsinstrumente nicht zu ähnlichen Faktorstrukturen wie in vergleichbaren Studien führen, wird eher über die Reliabilität des Messinstruments diskutiert, statt sich die verschiedenen Kontexte und Aufgabenstellungen der Studien genauer anzuschauen (S. 52). Entsprechend sollten erhobene Daten im Hinblick auf Kontext und andere Aspekte, die das Thema betreffen, sorgfältiger interpretiert werden (Bromme et al., 2008, S. 437).

## 2.4 Veränderbarkeit

Bevor auf die Veränderbarkeit der persönlichen Epistemologie eingegangen wird, werden zunächst grundlegende Überlegungen zur Entwicklung der persönlichen Epistemologie dargelegt, da sich daraus unter anderem Konsequenzen für Ansätze zur Veränderung der persönlichen Epistemologie ergeben.

In frühen Untersuchungen, z. B. in den Langzeitstudien von Perry (1970), wurden bei der Untersuchung der Entwicklung der persönlichen Epistemologie vor allem Studierende in der späten Adoleszenz und im jungen Erwachsenenalter untersucht. In den meisten Entwicklungsmodellen wird von einer fortschreitenden Abfolge verschiedener Stadien ausgegangen, die einem stufenartigen Verlauf von „naiven“ zu „sophistizierten“ Ansichten folgen (vgl. Hofer & Pintrich, 1997). Die Vorstellung einer entwicklungsbedingten Abfolge von epistemischen Haltungen, wird in den letzten Jahren, besonders aus kognitionspsychologischer Perspektive kritisiert. Dabei werden vor allem mit Blick auf das Kindesalter Zusammenhänge zur Theory of Mind erkannt (vgl. Wildenger, Hofer & Burr, 2010; Näheres dazu in Kapitel 2.5.1).

Im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile wird davon ausgegangen, dass sich epistemische Überzeugungen im Laufe eines Lebens ausbilden, wenn Individuen immer wieder verschiedene Behauptungen und Wissen beurteilen müssen und dabei, wie in Kapitel 2.1.3 dargestellt, bei der Bildung epistemischer Urteile verschiedene kognitive Elemente miteinander interagieren. In diesem Sinne wird die disziplin- und kontextspezifische Bildung epistemischer Urteile als eine Notwendigkeit für die Ausbildung und Entwicklung allgemeiner und disziplinbezogener epistemischer Überzeugungen angesehen, *„The confrontation with several contents in several disciplines should be necessary for the development of a comprehensive basis of epistemological beliefs on different (general and discipline-related) levels“* (Stahl, 2011, S. 57).

Die Möglichkeiten der Veränderung der persönlichen Epistemologie werden je nach theoretischem Ansatz unterschiedlich eingeschätzt und es liegen verschiedene Erklärungen und Befunde vor. Geht man beispielsweise davon aus, dass die individuelle persönliche Epistemologie fest verbunden mit allgemeinen Eigenschaften der Persönlichkeit ist, dürfte eine Veränderung eher weniger zu erwarten sein, als wenn man epistemische Überzeugungen als intuitive Theorien versteht, deren Veränderung durch Konzeptwechsel herbeigeführt werden kann (vgl. Hammer & Elby, 2002, S. 181–182).

In einer viel beachteten Übersicht von Pajares (1992), in der er die Bedeutung von Überzeugungen („beliefs“) bei Lehrkräften anhand verschiedener Studienergebnisse aufzeigt und einordnet, geht er insgesamt davon aus, dass (epistemische) Überzeugungen nicht oder nur schwer veränderbar sind. Beispielsweise sehen Nisbett und Ross (1980, zit. nach Pajares, 1992, S. 317) frühe Erfahrungen in der Entwicklung eines Individuums als wesentlich für die Ausbildung von weitgehend veränderungsresistenten Überzeugungssystemen an. Diese Überzeugungssysteme bleiben trotzdem bestehen, auch wenn sie die Realität nicht mehr angemessen abbilden können. Im gleichen Sinne stellen Roehler, Duffy, Herrmann, Conley und Johnson (1988, zit. nach Pajares, 1992, S. 312) fest, Überzeugungen von Lehrkräften wären statisch und repräsentieren situationsunabhängig „ewige Wahrheiten“.

Andererseits weisen Studien auch auf die Veränderbarkeit in der persönlichen Epistemologie hin. Brownlee, Purdie und Boulton Lewis (2001) konnten Veränderungen in den epistemischen Überzeugungen von Lehramtsstudierenden eines Seminars im Laufe eines Jahres feststellen.

Signifikante Veränderungen in den epistemischen Überzeugungen konnten ebenso Sosu und Gray (2012) bei zukünftigen Lehrkräften über die Dauer ihrer vierjährigen Ausbildung verzeichnen. Ebenso zeigten Felbrich, Mülle und Blomeke (2008), dass Lehramtsstudierende am Ende des Studiums die dynamischen Aspekte der domänenspezifischen Überzeugungen in Mathematik höher einschätzten als Studienanfänger. Muis und Duffy (2013) konnten durch die gezielte Ausgestaltung des Rahmens einer universitären Lehrveranstaltung nach acht Wochen signifikante Veränderungen der epistemischen Überzeugungen von Studierenden zur Sicherheit und Einfachheit sowie zur Erreichbarkeit der Wahrheit verzeichnen.

Aufgrund verschiedener empirischer Hinweise wird in Teilen der Bildungsforschung davon ausgegangen, dass sich epistemische Überzeugungen recht resistent gegenüber Veränderungen erweisen, durch länger andauernde Interventionsprogramme sich jedoch durchaus Veränderungen in den Überzeugungen zur Natur des Wissens einstellen können (z. B. Baumert & Kunter, 2013, S. 320).

In Anlehnung an den Conceptual-Change-Ansatz wird die Veränderung epistemischer Überzeugungen so erklärt, dass bestehende epistemische „Misskonzepte“ durch entsprechende Interventionen hervorgebracht, konfrontiert und dadurch destabilisiert werden, um weniger sophistizierte Überzeugungen zu ersetzen bzw. sie in Richtung eher sophistizierter Überzeugungen zu verändern (vgl. Oschatz, 2011). Bendixen und Rule (2004) beschreiben in einer Heuristik die Mechanismen der epistemischen Veränderung (*epistemic change*), bei denen epistemischer Zweifel (*epistemic doubt*), epistemischer Wille (*epistemic volition*) und Lösungsstrategien zur Veränderungen epistemischer Überzeugungen führen. Als Auslöser und Ausgangspunkt für Veränderungsprozesse sehen Bendixen und Rule zunächst den epistemischen Zweifel, bei dem ein Individuum die Evidenz für die eigenen epistemischen Überzeugungen abwägt und deren Wahrhaftigkeit hinterfragt. Der epistemische Wille ist die motivationale Voraussetzung für die intentionale Veränderung der subjektiven Überzeugungen, bei der das Individuum durch metakognitive Aufmerksamkeit Verantwortung für die eigenen epistemischen Überzeugungen übernimmt. Reflexion und soziale Interaktion halten Bendixen und Rule für wesentliche Lösungsstrategien, mit denen epistemische Veränderung herbeigeführt wird. Damit Lernende die Mechanismen der epistemischen Veränderung vollziehen können, empfehlen Rule und Bendixen (2010) die Berücksichtigung folgender Aspekte bei der Gestaltung von Lernprozessen: Durch explizites Nachdenken über die eigenen epistemischen Überzeugungen werden sich Lernende ihrer Überzeugungen bewusst und beurteilen diese, beispielsweise in Bezug auf unterschiedliche Möglichkeiten der Problemlösung. Für wichtig halten Rule und Bendixen auch die Zielorientierung in Lernprozessen, damit Lernende ihre epistemischen Überzeugungen in Bezug zum jeweiligen Lernziel setzen können. Des Weiteren halten sie die Auseinandersetzung mit komplexen Problemen (*ill-defined problems*), fruchtbar für epistemische Veränderungsprozesse.

Hammer und Elby (2002), die in ihrem Ansatz von epistemischen Ressourcen ausgehen, lehnen die Vorstellung ab, dass wie im Conceptual Change-Ansatz weniger angemessene epistemische

Überzeugungen anhand entsprechender Interventionen durch angemessene Überzeugungen ersetzt werden. In ihrem Konzept der epistemischen Ressourcen gehen sie davon aus, dass in unterschiedlichen Kontexten verschiedene epistemische Ressourcen aktiviert werden, die aufgrund ihrer Kontextabhängigkeit weder als grundsätzlich falsch oder richtig bezeichnet werden können. Hammer und Elby beschreiben vier übergeordnete Kategorien unterschiedlicher epistemischer Ressourcen (Ressourcen zum Verständnis der Natur und des Ursprungs von Wissen, Ressourcen zum Verständnis epistemischer Aktivitäten, Ressourcen zum Verständnis epistemischer Formen, Ressourcen zum Verständnis epistemischer Haltungen). Als Beispiele für die erstgenannten Ressourcen nennen Hammer und Elby „Wissen als übertragbarer Stoff“ („knowledge as propagated stuff“) oder „Wissen als hergestellter Stoff“ („knowledge as fabricated stuff“). Sie gehen davon aus, die epistemischen Ressourcen stünden von früher Kindheit an zur Verfügung und könnten in verschiedenen Kombinationen in unterschiedlichen Kontexten aktiviert werden. Ausgehend von beobachteten Veränderungen im Verhalten ihrer Studierenden im Laufe von Physikveranstaltungen vermuten sie, dass unterschiedliche Kontexte verschiedene epistemische Ressourcen aktivieren können, die zu beobachtbaren Veränderungen führen. Studierende, die zu Beginn des Semesters erwarten, ihnen werde formales Wissen vom Dozenten als Autorität in frontal gehaltenen Vorlesungen verabreicht, beteiligen sich am Ende des Semesters in hitzigen Debatten und verhalten sich so, als hätten ihre eigenen Ideen und Erfahrungen Relevanz. Diese lokale Veränderung im Kontext der Veranstaltung erklären Hammer und Elby mit der Aktivierung bestimmter epistemischer Ressourcen, die durch den Rahmen der Veranstaltung bewirkt werden. Sie wenden sich gegen die Vorstellung, Lehrende könnten die epistemischen Überzeugungen der Lernenden nach dem Prinzip des Conceptual Change-Ansatzes verändern. Für angebrachter halten sie es, dass Lehrende den Lernkontext verändern und den Lernenden dabei helfen, produktive, kontextbezogene Ressourcen zu aktivieren (vgl. Hammer & Elby, 2002; Stahl, 2011).

Das Konzept der epistemischen Ressourcen wird in der Forschung kontrovers diskutiert. Zum einen wird kritisiert, dass es nicht ausgiebig empirisch geprüft wurde (vgl. Hofer, 2008, S. 13) und zum anderen berücksichtigt es nicht die Rolle stabilerer kognitiver Elemente (wie z. B. epistemische Überzeugungen), deren Bedeutung ebenso in Studien mit Kontextbezug identifiziert werden konnten (vgl. Sinatra, Kienhues & Hofer, S. 127). Kritik bezieht sich auch auf konzeptionelle Unklarheiten des Ansatzes (z. B. Sandoval, 2009; Stahl, 2011). Stahl (2011) bemerkt, die Idee von epistemischen Ressourcen könne kritisiert werden, da sie nicht konkret genug sei, um die kontextbezogene Bildung epistemischer Urteile zu erklären und vorherzusagen. Für problematisch hält Stahl in diesem Zusammenhang, dass in dem Ansatz nicht genug zwischen zu beurteilenden Informationen und Wissen differenziert wird (S. 46-47).

Trotz allen kritischen Stimmen werden grundlegende Ideen des Konzepts der epistemischen Ressourcen in weiten Teilen der Forschung gewürdigt. Zum einen, weil die Vorstellung epistemischer Ressourcen als nützliche Heuristik für die Interpretation epistemischen Verständnisses in verschiedenen Kontexten dient (vgl. Hofer, 2008, S. 8) und zum anderen, weil der Ansatz

fruchtbare didaktische und methodische Implikationen für Lern- und Lehrprozesse enthält (vgl. Feucht & Bendixen, 2010, S. 12; siehe auch Kapitel 2.5.3). Stahl (2011, S. 47) hält besonders den starken Fokus auf Kontextualität und Flexibilität im Konzept der epistemischen Ressourcen für ermutigend.

Eine bemerkenswert kurzfristige Veränderung in den epistemischen Urteilen von Studierenden konnten Kienhues, Bromme und Stahl (2008) bei der Untersuchung der Auswirkungen einer Intervention auf die persönliche Epistemologie von Studierenden nachweisen. Studierende lasen unterschiedlich aufbereitete Texte zum Thema „Genetischer Fingerabdruck“. Bei der einen Hälfte der Texte handelte es sich um widerlegende Texte („refutational texts“). In widerlegenden Texten werden mindestens zwei Seiten eines Themas betrachtet bzw. dargestellt und dabei sowohl Argumente als auch Gegenargumente angeführt. Die andere Hälfte der Texte zeichnete sich durch eine faktenreiche und gleichzeitig lehrbuchartige Form aus, in der kontroverse Darstellungen fehlten. In einem 2x2 Forschungsdesign wurden Studierende mit weniger sophistizierten und eher sophistizierten epistemischen Überzeugungen randomisiert zu zwei unterschiedlichen Instruktionen, dem Lesen des refutationalen Texts einerseits und dem lehrbuchartigen Text andererseits, zugeteilt. Studierende, die vor dem Lesen weniger sophistizierte Ansichten zeigten, veränderten ihre epistemischen Urteile beim Lesen der widerlegenden Texte wie erwartet in Richtung größerer Sophistiziertheit. Umgekehrt zeigten aber auch Studierende mit eher sophistizierten Überzeugungen nach dem Lesen der lehrbuchartigen Texte auch weniger sophistizierte Urteile. Die unerwartete kurzfristige Veränderung durch die Intervention steht im scheinbaren Widerspruch zur oben dargestellten Lehrmeinung, persönliche Epistemologie sei nur schwer zu verändern. Stahl (2011) geht davon aus, dass durch die kurzfristige Intervention nicht stabilere epistemische Überzeugungen verändert wurden. Er erklärt die gemessene Veränderung durch die verschiedenen kognitiven Elemente, die die Studierenden aufgrund der unterschiedlichen Darbietungsweisen im Kontext des Texts aktivierten. Demnach werden gemessene Veränderungen des Wissenschaftsverständnisses im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Überzeugungen als kontextuell abhängige Aktivierung verschiedener kognitiver Elemente bei der Bildung epistemischer Urteile verstanden. Eine langfristige Veränderung stabilerer epistemischer Überzeugungen scheint in diesem Ansatz dadurch möglich, indem die stabileren epistemischen Überzeugungen mit anderen kognitiven Elementen, wie z.B. neu erworbenen Fachwissen, interagieren.

Es lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die persönliche Epistemologie von Individuen in neueren Ansätzen als veränderbar und stark kontextabhängig erscheint. Die kurzfristige Veränderung in der persönlichen Epistemologie wird im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile als eine Veränderung der epistemischen Urteile verstanden, die auf der kontextbezogenen und flexiblen Aktivierung verschiedener kognitiver Elemente basiert und langfristig auf die Entwicklung und Veränderung stabilerer epistemischer Überzeugungen rückwirken kann. Veränderungen epistemischer Urteile können demnach durch die Auseinandersetzung

mit spezifischem fach- und themenbezogenem Wissen und der Art der Wissensvermittlung erreicht werden. Möglichkeiten der Veränderung und Förderung des Wissenschaftsverständnisses werden in Kapitel 2.5.3 vorgestellt.

## 2.5 Persönliche Epistemologie in Schule und Studium

Weiter oben wurden wissenschaftliche Erkenntnisse zur persönlichen Epistemologie von Lernenden dargestellt, um beispielsweise die fachliche Bedeutung des Ansatzes aufzuzeigen. Angesichts des parallelen Aufbaus der Kapitel 2 und 3, der den Vergleich zwischen den Konstrukten Nature of Science und persönliche Epistemologie ermöglicht, werden im Folgenden nochmals Studienergebnisse zur persönlichen Epistemologie von Lernenden und Lehrenden dargestellt, um sie nun im Hinblick auf Schule und Studium zu beleuchten und um danach auf Möglichkeiten und Maßnahmen der Veränderung und Förderung der persönlichen Epistemologie in Schule und Studium einzugehen.

### 2.5.1 Persönliche Epistemologie von Lernenden

Bei den folgenden Darstellungen von Erkenntnissen zur persönlichen Epistemologie von Lernenden und deren Einfluss auf verschiedene Aspekte des Lernens wird sowohl auf Schülerinnen und Schüler als auch auf Studierende eingegangen, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Schule und Hochschule grob zu umreißen.

Die ersten Konzepte persönlicher Epistemologie von Lernenden wurden zunächst vor allem im Zusammenhang mit der Untersuchung amerikanischer College-Studierender entwickelt (z. B. Schommer, 1990). In den letzten 20 Jahren rückten auch zunehmend jüngere Lernende in den Fokus der Forschung. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass die epistemischen Überzeugungen von jüngeren Lernenden im Vergleich zu Studierenden einfacher und weniger differenziert sind. Jüngere Schülerinnen und Schüler verfügen dennoch über ein epistemisches Verständnis, welches ihre Lernprozesse beeinflusst (vgl. Mason, 2010, S. 266).

#### *Kindergarten und Schule*

Die persönliche Epistemologie von Kindergarten-Kindern und Grundschulern wird vor allem unter dem Entwicklungsaspekt betrachtet. Dabei wird untersucht, wie sich im Laufe der Jahre der Frühen Bildung die persönliche Epistemologie bei jungen Lernenden entwickelt. Wildenger et al. (2010), die in ihrer Untersuchung mit jungen Lernenden einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem epistemischen Verständnis und dem Verständnis mentaler Repräsentationen anderer Menschen (Theory of Mind) aufzeigen, konnten nachweisen, dass drei- und vierjährige Kinder mit geringeren Theory of Mind-Fähigkeiten im Vergleich zu Fünfjährigen häufiger relativierende Urteile treffen. Die relativierenden Urteile nehmen dann mit zunehmendem Alter ab und werden bis zum Alter von fünf Jahren eher absolutistisch, was bedeutet, dass Kinder Wissen dann als entweder richtig oder falsch beurteilen. Demnach beurteilen kleine Kinder Wissen als eher relativ und subjektiv, wenn die Theory of Mind-Fähigkeiten noch gering aus-



gebildet sind. Die Zunahme an absolutistischen Urteilen mit höherem Alter wird mit dem wachsenden Verständnis für Objektivität durch die sich entwickelnde Theory of Mind erklärt. Des Weiteren beginnen Grundschüler mit zunehmendem Alter zwischen dem Wissen in verschiedenen Disziplinen zu unterscheiden (S. 239).

Ein entscheidender Schritt im epistemischen Denken vollzieht sich im Übergang zwischen Grundschule und weiterführender Schule (vgl. Mason, 2010, S. 264). Conley, Pintrich, Vekiri und Harrison (2004) stellten bei Schülerinnen und Schülern der fünften Klasse Überzeugungen zur Quelle, Sicherheit, Entwicklung und Rechtfertigung naturwissenschaftlichen Wissens fest. In der selben Altersgruppe beobachtete Elder (2002) eine Mischung aus mehr oder weniger angemessenen epistemischen Überzeugungen. In den eher sophistizierten Überzeugungen sehen die Schüler naturwissenschaftliches Wissen als ein sich entwickelndes, sich veränderndes Konstrukt an, das durch Beweisführung und Überprüfung entsteht (vgl. Elder, 2002, S. 361).

Aufgrund des disziplinspezifischen Schwerpunkts dieser Arbeit wird im Folgenden auf Erkenntnisse zur persönlichen Epistemologie älterer Schüler der Mittelstufe sowie Schüler der Oberstufe in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern fokussiert.

Ergebnisse aus Studien mit Lernenden der Sekundarstufe I und II deuten darauf hin, dass die Bedeutsamkeit persönlicher Epistemologie für Lernprozesse mit steigendem Alter zunimmt. So wurde nachgewiesen, ...

- dass die Ansichten von Achtklässlern zu ihren eigenen naturwissenschaftlichen Kompetenzen und Fähigkeiten in direkter Verbindung mit Überzeugungen zu naturwissenschaftlichem Wissen stehen. Das heißt, eher sophistizierte epistemische Überzeugungen zeigen direkte Zusammenhänge mit Ansichten zur Leistungsfähigkeit, Selbstwirksamkeit sowie Ziel- und Aufgabenorientierung in den Naturwissenschaften (Chen & Pajares, 2010).
- dass das epistemische Verständnis von Achtklässlern in den Naturwissenschaften ein Prädiktor für Argumentationskompetenzen beim Gebrauch von Argument, Gegenargument und Widerlegung ist (Mason & Scirica, 2006).
- dass sich die Ansichten von Achtklässlern, naturwissenschaftliches Wissen entwickle sich und sei veränderlich, positiv auf das Verständnis vieler thermodynamischer Phänomene und ihrer zugrunde liegenden Prinzipien auswirkt (vgl. Mason, 2010, S. 267).

In einer Zusammenschau verschiedener Studienergebnisse zu mathematikspezifischen Überzeugungen zeigen De Corte, Op 't Eynde, Depaepe und Verschaffel (2010) auf, wie sich weniger sophistizierte Überzeugungen von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe negativ auf das Lernen und Verständnis von Mathematik auswirken können. So vertreten beispielsweise Schüler mit weniger sophistizierten Überzeugungen die Auffassung, es gebe in der Mathematik nur richtige oder falsche Antworten, mathematisches Schulwissen habe nichts mit der wirklichen Welt zu tun sowie Auswendiglernen und Aneignung mathematischer Techniken führe zum Erfolg. Des Weiteren sehen sie Mathematik als etwas Zwanghaftes an, bei dem man den

vorgegebenen Regeln der Lehrkraft zu folgen hat. Genauso können jedoch bei Schülern der Sekundarstufe auch eher förderliche Überzeugungen für das Lernen der Mathematik festgestellt werden, wenn z. B. Schüler Mathematik als ein Feld der Erkundung, Verhandlung und Diskussion verstehen, in dem ihnen als Lernende eine aktive Rolle zukommt (S. 306). Diese Überzeugungen sehen De Corte et al. (2010) als ein Ergebnis eines diskussionsorientierten Mathematikunterrichts, bei dem sich soziomathematische Normen in der Interaktion zwischen Lernenden und Lehrkraft positiv auswirken und zur Entstehung neuer Lernmöglichkeiten beitragen (S. 312).

Der letztgenannte Zusammenhang verweist auf die besondere Rolle der Lehrkraft für die persönliche Epistemologie ihrer Schülerinnen und Schüler. Lehrkräfte stellen in den Augen ihrer Schüler häufig eine zuverlässige Quelle sicheren Wissens dar. Bråten et al. (2013) konnten zeigen, dass Schülerinnen und Schüler der 10. Klasse sich neben Schulbüchern und Wissenschaftlern eher auf ihre Lehrkräfte als Quelle sicheren Wissens, statt auf ihre eigene persönliche Meinung verlassen. Ganz im Sinne der kognitiven Arbeitsteilung (vgl. Kapitel 2.2.1, S. 19) erkennen Schülerinnen und Schüler in ihrer Lehrkraft eine „epistemische Autorität“, der eine bestimmte „Ecke der Wahrheit“ zukommt (vgl. Bendixen & Feucht, 2010, S. 569). Dieser Blick von Schülerinnen und Schülern auf ihre Lehrkräfte verweist auf die Bedeutung der epistemischen Überzeugungen von Lehrkräfte und deren Einfluss auf die Unterrichtsgestaltung in der Schule, auf die weiter unten in Kapitel 2.5.2 eingegangen wird.

### *Studium*

Wie schon oben erwähnt, stammt ein großer Teil des empirisch fundierten Wissens zur persönlichen Epistemologie aus der Forschung mit Studierenden. Aus diesen erhobenen Daten wurden Erkenntnisse über die Dimensionalität und Domänenspezifität persönlicher Epistemologie abgeleitet und deren Bedeutung für verschiedene Aspekte akademischen Lernens herausgearbeitet (Hofer & Pintrich, 1997). Im Folgenden werden aufgrund der Bedeutung für den empirischen Teil dieser Arbeit Erkenntnisse zur persönlichen Epistemologie Studierender bezüglich des Aspekts des Disziplinbezugs kurz vorgestellt.

Ausgehend von der Idee, epistemische Überzeugungen seien eine Funktion des Bildungsniveaus und des Studienfelds, untersuchten Jehng, Johnson und Anderson (1993), inwiefern die Wahl und das Studium eines Faches mit den epistemischen Überzeugungen der Studierenden zusammenhängen. Erhoben wurden die Überzeugungen von Studierenden „harter“ Fächer (Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaften) und „weicher“ Fächer (Sozial- und Geisteswissenschaften). Studierende der „weichen“ Fächer zeigten dabei eher die Überzeugungen, Wissen sei unsicher und Lernen hänge von unabhängiger Beweisführung ab. Als Erklärung für diesen Zusammenhang bevorzugten Jehng et al. die Schlussfolgerung dass die individuellen epistemischen Überzeugungen der Studierenden durch das akademische Umfeld geprägt werden. Ebenso halten sie es für möglich, dass die individuellen Überzeugungen die Wahl des Fachs zu Beginn des Studiums beeinflussen (S. 34).

Hofer untersuchte die epistemischen Überzeugungen von Psychologiestudierenden in den Domänen Psychologie und Naturwissenschaften zu Beginn des Studiums. Die Studierenden zeigten die Überzeugungen, Wissen in den Naturwissenschaften sei im Vergleich zur Psychologie sicherer und unveränderlicher und persönliches Wissen sowie eigene Erfahrungen im Bereich Psychologie dienten stärker als Basis für die Rechtfertigung von Wissen. Zudem sahen sie Autoritäten in den Naturwissenschaften viel mehr als die bevorzugten Quellen von Wissen an. Ebenso hielten sie die Wahrheit in den Naturwissenschaften für eher erreichbar (S. 394). Aufgrund der Faktorenstruktur der erhobenen Konstrukte und den erzielten Mittelwerten schloss Hofer, dass weniger das jeweilige akademische Feld die Ausbildung genereller Überzeugungen beeinflusst, sondern dass epistemische Überzeugungen vielmehr von domänenspezifischer Natur sind.

Jüngere Studien zeigen, dass Studierende die einzelnen Disziplinen bzw. einzelne Themen der Naturwissenschaften unterschiedlich im Hinblick auf Gültigkeit und Veränderlichkeit beurteilen. Stahl und Bromme (2007) erfassten die epistemischen Urteile von Studierenden unterschiedlicher naturwissenschaftlicher Fächer zur Pflanzenbestimmung, Genetik und Physik. Die Studierenden beurteilten Physik als die präziseste, Genetik als die dynamischste und Pflanzenbestimmung als die unflexibelste Disziplin. Ebenso schätzten die Studierenden das Wissen in Pflanzenbestimmung als unstrukturierter als in der organischen Chemie ein. Andere Studien (z. B. Topcu, 2013) zeigen ebenso, dass Studierende die verschiedenen Disziplinen der Naturwissenschaften im Hinblick auf ihre Sicherheit, Veränderlichkeit und Komplexität unterschiedlich beurteilen.

Studien deuten darauf hin, dass die persönliche Epistemologie von Lernenden in Schule und Hochschule nicht nur von der Disziplin, sondern auch von kontextuellen Faktoren, wie beispielsweise dem jeweiligen Lernsetting (Muis & Duffy, 2013) abhängen. Auf den Zusammenhang zwischen kontextuellen Aspekten und persönlicher Epistemologie und die Auswirkungen des Lernsettings auf die persönliche Epistemologie wird weiter unten in Kapitel 2.5.3 im Zusammenhang mit möglichen Maßnahmen zur Veränderung und Förderung der persönlichen Epistemologie eingegangen.

## 2.5.2 Zusammenhang zwischen persönlicher Epistemologie und professionellem Handeln der Lehrenden

Insgesamt erscheint die Befundlage zur persönlichen Epistemologie von Lehrkräften nicht genauso umfangreich, wie die zur persönlichen Epistemologie von Lernenden. Es stellt sich bei der Untersuchung der persönlichen Epistemologie von Lehrenden die grundsätzliche Frage, ob sie separat von den Forschungsergebnissen zur persönlichen Epistemologie von Lernenden zu konzeptualisieren ist.

Im Folgenden werden vor allem Erkenntnisse zur Auswirkung der persönlichen Epistemologie von Lehrkräften auf ihr unterrichtliches Handeln und somit auf die persönliche Epistemologie von Lernenden vorgestellt. Es wird aufgrund von verschiedenen empirischen Hinweisen davon

ausgegangen, dass Lehrkräfte mit eher sophistizierten epistemischen Überzeugungen dazu tendieren, einen eher schülerorientierten, konstruktivistischen Ansatz zu verfolgen, in dem sie Strategien in ihren Unterricht integrieren, die Diskussionen, Interaktion und Problemlöseprozesse seitens der Lernenden fördern. Lehrkräfte mit weniger sophistizierten Überzeugungen scheinen dagegen eher einen lehrerzentrierten, transmissiven Ansatz in der Gestaltung ihres Unterrichts zu bevorzugen. Zu diesen Annahmen ist vorweg anzumerken, dass der Zusammenhang zwischen den Überzeugungen der Lehrkräfte, der Unterrichtsgestaltung und den epistemischen Überzeugungen der Lernenden (z. B. Hofer, 2001) nur schwer mess- und belegbar erscheint. So stellen beispielsweise Sosu und Gray (2012) fest, es wäre nicht trivial, eine Verbindung zwischen der persönlichen Epistemologie der Lehrperson und ihrer Lehrkompetenz nachzuweisen. Entsprechend halten Baumert und Kunter (2013) die weit verbreitete Annahme, epistemische Überzeugungen der Lehrkräfte hätten erheblichen Einfluss auf die professionelle Wahrnehmung von Unterrichtsprozessen und das berufliche Handeln für nicht ausreichend empirisch belegt (S. 312).

Seidel et al. (2008) untersuchten in einer Studie die Zusammenhänge zwischen epistemischen Überzeugungen von Lehrpersonen und ihrem unterrichtlichen Handeln. In der Studie wurden zwei Orientierungen im Wissenschaftsverständnis der Lehrkräfte unterschieden. Einerseits ein konstruktivistisches Wissenschaftsverständnis, das beispielsweise die Vorläufigkeit von Wissen und die Annahme von sozialen Aushandlungsprozessen und Vereinbarungen in der Wissenschaft betont und andererseits eine empiristische Orientierung, die beispielsweise die Vorstellung einer von der Wissenschaft aufzudeckenden objektiven Realität und gewissenhaftes Experimentieren als Weg zu unfehlbarem Wissen beinhaltet (Seidel et al., 2008, S. 260–261). Die Ergebnisse zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen einem konstruktivistischen Wissenschaftsverständnis und konstruktivistischen Überzeugungen über das Lernen von Schülerinnen und Schülern. Dagegen geht eine empiristische Auffassung von Wissenschaft mit rezeptiven Überzeugungen zum Lernen von Schülerinnen und Schülern einher (Seidel et al., 2008, S. 273). Einen direkten Zusammenhang zwischen den epistemischen Überzeugungen und dem Unterrichtshandeln der Lehrkräfte konnte jedoch nicht nachgewiesen werden (Seidel et al., 2008, S. 274).

Lidar, Lundqvist und Östman (2006) können hingegen einen direkten Zusammenhang zwischen dem handlungsbezogenen Wissenschaftsverständnis von Lehrkräften und dem Wissenschaftsverständnis ihrer Schülerinnen und Schüler nachweisen. Lehrkräfte geben im unterrichtlichen Handeln durch ihr Kommunikationsverhalten in der Interaktion mit den Schülerinnen und Schülern Hinweise („*epistemological moves*“, S. 148), die aufzeigen, was als Wissen zählt und welche Wege der Wissensgewinnung in bestimmten sozialen Praktiken angemessen sind. Sie beeinflussen so die anwendungsbezogenen epistemischen Überzeugungen der Schüler („*practical epistemology*“, Lidar et al., 2006, S. 149), indem sie im naturwissenschaftlichen Unterricht die Aufmerksamkeit der Schüler auf bestimmte Aspekte von Wissen und Prozessen der Wissensgewinnung lenken. Die Lernenden werden dadurch in der Beurteilung dessen beeinflusst,

was sie als relevant und wichtig in der Art des Wissens und bezüglich der Mittel der Wissensgewinnung ansehen (Lidar et al., 2006, S. 161).

Sosu und Gray (2012) stellen fest, dass verschiedene epistemische Überzeugungen der Lehrkräfte sich nicht gleichermaßen auf die Lehr- und Unterrichtskompetenz auswirken. In einer Studie konnten sie lediglich den Einfluss der Überzeugungen zur Quelle des Wissens von Berufsanfängern auf die Unterrichtskompetenz nachweisen. Diejenigen, die Beweisführung und empirische Evidenz als Quelle des Wissens höher bewerteten als Experten, zeigten signifikant größere Unterrichtskompetenz, zu der unter anderem Klassenführung, Beobachtungs-, Reflexions- und Kommunikationskompetenz sowie das Wissen und Verständnis bildungswissenschaftlicher Theorien hinzugerechnet wurde.

Die Schwierigkeiten im Nachweis direkter Zusammenhänge zwischen den epistemischen Überzeugungen und dem Unterrichtshandeln der Lehrenden wird auch in einer aktuellen Studie von Dolphin und Tillotson (2015) deutlich. Dolphin und Tillotson konnten bei Lehrkräften der Naturwissenschaften der Sekundarstufe zwischen epistemischen Haltungen unterscheiden, die entweder den Aspekt der Aneignung (acquisition) oder den Aspekt der Teilhabe (participation) betonten. Dabei wurden auch häufig Kombinationen aus beiden Haltungen beobachtet, die in der Studie als pluralistisch bezeichnet werden. Die an der Studie teilnehmenden Lehrkräfte zeigten insgesamt eher pluralistische epistemische Haltungen und betonten dabei entweder den Aspekt der Aneignung bzw. der Teilhabe. Obwohl ein großer Teil der Lehrkräfte eher sophistische epistemische Haltungen einnahmen, konnten in der Studie keine Hinweise des direkten Einflusses der eher sophistizierten epistemischen Haltungen auf die Unterrichtspraxis gefunden werden. Die beobachteten Unterrichtsstunden beinhalteten alle in irgendeiner Form den Modus des Wissenstransfers (z.B. Frontalunterricht, Anleitungen, Abschreiben). Keine der Stunden ermöglichte es den Schülerinnen und Schülern, eigene Untersuchungen selbstbestimmt durchzuführen, eigene Fragen zu stellen oder eigene Vorhersagen zu treffen. Ein großer Teil der beobachteten Unterrichtsstunden waren zudem lehrerzentriert.

Eine Erklärung für die unbefriedigende Befundlage mit inkonsistenten Forschungsergebnissen zum Verhältnis zwischen persönlicher Epistemologie von Lehrkräften und ihrem Unterrichtshandeln liegt zum einen in weiteren Faktoren, die das Unterrichtshandeln zusätzlich beeinflussen. Aspekte, wie z. B. Curriculum-Reformen, Überprüfungsdruck oder Schulort, stellen Einflussfaktoren dar, die berücksichtigt werden müssen, wenn der Zusammenhang zwischen persönlicher Epistemologie und Unterrichtshandeln von Lehrkräften untersucht werden (vgl. Sosu & Gray, 2012, S. 83). Insgesamt erscheint daher die Komplexität von Unterrichtsprozessen und die darauf Einfluss nehmenden Faktoren die Untersuchung der direkten Zusammenhänge zwischen bestimmten Überzeugungen der Lehrkräfte und ihres Unterrichtshandelns zu erschweren. Eine weitere Erklärung für die inkonsistenten Forschungsergebnisse kann im Kontextbezug der persönlichen Epistemologie gefunden werden. Im Sinne des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile argumentieren Sosu und Gray (2012), für Lehrkräfte seien in manchen

Kontexten je nach Fachgebiet, Schülergruppe und äußeren Umständen bestimmte Überzeugungen produktiver als andere und entsprechend werde die Unterrichtsmethode gewählt. Eine in der Literatur als naiv bezeichnete Überzeugung könne demnach in bestimmten Unterrichtssituation produktiver sein, als sogenannte sophistizierte Überzeugungen. So könnte es für Lehrkräfte in bestimmten Unterrichtssituationen sinnvoll sein, davon auszugehen, dass sich der Wissenserwerb ihrer Schülerinnen und Schüler schnell statt langsam und graduell vollzieht, beispielsweise dann, wenn die Lernenden über Vorwissen zum Thema verfügen.

### 2.5.3 Maßnahmen zur Veränderung und Förderung persönlicher Epistemologie

Eine Modifikation von Lehr- und Lernprozessen, die weg von der auf die Lehrenden ausgerichteten Wissensvermittlung und hin zu schülerorientierten Lernszenarien führen, ist eine Maßnahme, um das Wissenschaftsverständnis von Lernenden zu fördern. Hammer und Elby (2002) gehen davon aus, dass Veränderungen des Lernkontexts förderlich für die persönliche Epistemologie von Lernenden in Schule und Hochschule sind. So halten sie es für sinnvoll, durch mehr Gruppendiskussionen und weniger Lehrervortrag die Lernenden dazu zu bringen, sich mit verschiedenen Perspektiven auseinanderzusetzen und diese zu erkunden. Des Weiteren halten sie im Unterschied zum herkömmlichen Unterricht diejenigen Lernkontexte für fruchtbar, in denen Lernende durch Gestaltungs- und Konstruktionsaktivitäten lernproduktive epistemische Ressourcen aktivieren können (S. 182). Die Veränderung des Rahmens, in dem Lernen stattfindet, beeinflusst nach Hammer und Elby die Aktivierung der epistemischen Ressourcen. So ist beispielsweise Wissen in Physik im Rahmen traditionellen Unterrichts entkoppelt von intuitivem, alltäglichem logischen Denken. Eine Veränderung persönlicher Epistemologie ist unter Berücksichtigung verschiedener Kontexte und Rahmungen kurz- und langfristig möglich (vgl. Elby & Hammer, 2010, S. 429–430). Empirische Belege finden sich dafür beispielsweise in einer Studie von Muis und Duffy (2013), die den Einfluss unterschiedlicher Lehrkontexte in Hochschulveranstaltungen auf die Beurteilung des in der Veranstaltung behandelten Wissens untersuchten. In einer Studie wurden die Auswirkungen einer konstruktivistisch (Interventionsgruppe) und einer eher traditionell ausgerichteten Hochschulveranstaltung (Kontrollgruppe) verglichen. In der konstruktivistisch ausgerichteten Veranstaltung wurden die Inhalte so behandelt, dass die Studierenden kritisch über die Themen nachdachten, verschiedene Ansätze zu Problemlösungen heranzogen, in Gruppen arbeiteten und im Plenum diskutierten. Ergänzend nahm der Lehrende eine Position ein, in der er die Vorläufigkeit von Wissen hervorhob und keine einfachen Lösungen für die Probleme lieferte, sondern die Studierenden selbstständig nach Lösungen suchen ließ. Dagegen hörten die Studierenden der Kontrollgruppe Botschaften der Art, Wissen sei unveränderlich oder es gäbe eine erreichbare Wahrheit. Die Studierenden der Kontrollgruppe verblieben in ihren Beurteilungen der Sicherheit und Glaubwürdigkeit von Wissen. Die Studierenden der Interventionsgruppe dagegen vollzogen während der Intervention eine Veränderung in ihren epistemischen Haltungen.

Ausgehend von der Grundannahme, dass in verschiedenen Lernkontexten das Wissenschaftsverständnis unterschiedlich aktiviert und gefördert wird, folgt eine Vorstellung von Kontexten und Lernszenarien, die förderlich für die persönliche Epistemologie der Lernenden sind. Dabei erscheint es für alle Kontexte wichtig, dass sich die Lehrenden der überhöhten Vorstellung als „epistemische Autorität“, die ihnen durch die Lernenden zugeschrieben wird, bewusst sind und verantwortungsvoll mit dieser Zuschreibung umgehen. Das heißt, dass Lehrkräfte aufgrund ihrer Expertise einschätzen können, in welchen Situationen sie ihren Schülerinnen und Schülern entweder sinnvoll als „epistemische Autorität“ Wissen vermitteln oder in welchen Kontexten sie sich zurücknehmen und ihren Schülern eigene und selbstgesteuerte Lernmöglichkeiten eröffnen (vgl. Bendixen & Feucht, 2010).

Da Schülerinnen und Schüler häufig alltägliche Problemlösungsprozesse nicht in Verbindung mit den naturwissenschaftlichen Problemen in ihren Schulbüchern bringen (vgl. Bell & Linn, 2002, S. 342), halten Yang und Tsai (2010) es für notwendig, in informellen Kontexten, also außerhalb des üblichen naturwissenschaftlichen Unterrichts, die Praxis naturwissenschaftlicher Beweisführung mit Schülern zu praktizieren. Sie begründen das mit dem Konsens unter Forschern, Lernende müssten in die Generierungspraktiken neuen Wissens in den Naturwissenschaften eingeführt werden und dies müsse auch in informellen Kontexten erfolgen. Demnach fördere naturwissenschaftliches Argumentieren (scientific reasoning) in unterschiedlichen Kontexten nicht nur die Argumentationskompetenzen, sondern aktiviert auch verschiedene epistemische Überzeugungen. Lehrenden kommt dabei die Aufgabe zu, solche Kontexte zu schaffen, in denen Lernende entsprechende Kompetenzen erwerben können (Yang & Tsai, 2010, S. 149). Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, indem sich Lernende in Gruppen mit abweichenden und außergewöhnlichen Daten oder konfligierenden Informationen auseinandersetzen und ihr Wissen zum Thema sozial konstruieren, um danach kritisch das Verhältnis zwischen Theorie und Beweis zu evaluieren. Themen, die sich zu einer solchen Auseinandersetzung anbieten, wären nach Yang und Tsai beispielsweise Diskussionen zur Unsicherheit des Wissens über das Aussterben der Dinosaurier oder der Vorhersagemöglichkeiten von Erdbeben. In diesem Sinne sehen auch Bendixen und Feucht (2010) die Notwendigkeit von Aktivitäten, in denen Lernende verstärkt durch Beteiligung, Meinungsäußerung, Reflexion und epistemischer Diskussion miteinbezogen werden. Beteiligung kann beispielsweise durch Diskussionen und reflexionsorientiertes Journal-Writing erreicht werden. Ausgangspunkt für solche Aktivitäten können auch „echte“ Experimente sein, deren Ausgang nicht schon vor der Versuchsdurchführung feststeht, wie dies häufig bei Demonstrationsversuchen der Fall ist (S. 571).

Kienhues et al. (2008, S. 561) halten es für sinnvoll, dass Lehrende im Unterricht oder in Vorlesungen zu einem Thema, beispielsweise in Instruktionsphasen oder durch die Auswahl von Texten, die Sicherheit des themenspezifischen Wissens nicht übermäßig betonen. Wie die in Kapitel 2.4 dargestellte Studie von Kienhues et al. zeigt, können Texte, die die Sicherheit von Wissen eines Themas hervorheben, die persönliche Epistemologie der Lernenden ungünstig

beeinflussen. Zudem sollten Lehrkräfte epistemisch widersprechende Inhalte in den Unterricht integrieren. Beispielsweise könnten themen- und theoriespezifische Unangemessenheiten und Kontroversen eine Bereicherung für Unterricht und Studium sein. Diesbezüglich konnten Bell und Linn (2002) zeigen, dass ein auf Kontroversen fokussiertes Curriculum positive Veränderungen in der persönlichen Epistemologie der Lernenden bewirkt. Wenn Lernende kontroverse Themen erkunden und diese mit für sie persönlich relevanten Aspekten verknüpfen, profitieren sie im Hinblick auf das Verständnis von Forschungsprozessen und komplexen Themen der Naturwissenschaft. Ebenso sehen Bell und Linn eine Möglichkeit für die Auseinandersetzung mit kontroversen Themen in gemeinsamen und kritischen Debatten zu entsprechenden Themen (S. 342–343).

Gerade weil naturwissenschaftliche Schul- und Lehrbücher Wissen im Unterschied zu wissenschaftlicher Primärliteratur als ausgesprochen sicher präsentieren (vgl. Yarden, 2009), kann die Gegenüberstellung der vereinfachten Darstellung mit anderen Materialien (z. B. kontroverse Darstellungen, Primärliteratur), deren Inhalte im Widerspruch zu den Schul- und Lehrbüchern stehen, zu epistemischen Diskussionen führen (vgl. Bendixen & Feucht, 2010, S. 572). Insgesamt erscheinen die Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Informationsquellen, dem Vergleich der Darstellungen und die Beurteilung der Sicherheit und Verlässlichkeit der dargebotenen Inhalte als hilfreich, Veränderungen in der persönlichen Epistemologie zu bewirken. Der Umgang mit multiplen Texten zu aktuellen wissenschaftlichen Themen bietet die Möglichkeit, konfligierende Informationen und Kontroversen epistemisch zu validieren (vgl. Richter & Maier, 2014, S. 35–36). Hierbei erscheint es auch sinnvoll, in fachbezogenen Lernkontexten gezielt die Lesekompetenzen bezüglich multipler Texte in den Fachunterricht zu fördern (*Science meets Reading*, vgl. Stadtler, Bromme & Rouet, 2014). Wenn Lernende Zugriff auf authentische Wissenschaftstexte haben und im Umgang mit ihnen Informationen entnehmen, zueinander in Beziehung setzen und bewerten, dann geschieht das in einem Kontext, in dem der Kompetenzerwerb im Umgang mit wissenschaftlichen Informationen auf angemessenen epistemischen Überzeugungen basiert (S. 66).

Studienergebnisse von Mason et al. (2010a, S. 85) weisen auf den Zusammenhang eines hohen Maßes an selbstreguliertem Lernen im Umgang mit verschiedenen Online-Quellen und der Aktivierung eher sophistizierter epistemischer Überzeugungen hin. Demnach kann der selbstregulierte Umgang von Schülerinnen und Schülern mit multiplen Dokumenten im Internet dabei helfen, eher sophistizierte Überzeugungen bei der Beurteilung des Wissens im Lernkontext zu aktivieren. Informationsquellen im Internet zu beurteilen halten auch Bell und Linn (2002) für eine wichtige Fähigkeit, über die Lernende verfügen sollten, wenn sie nach naturwissenschaftlichen Informationen recherchieren. Insofern bietet sich der Umgang mit dem Internet an, wenn es darum geht, die Beurteilung naturwissenschaftlichen Wissens in Schule und Hochschule zu praktizieren und zu reflektieren:

“Searching on any topic in science is likely to yield a vast array of information that varies in reliability, validity, replicability, and connection to normative scientific ideas.



As an opportunity for students to develop the ability to critically evaluate scientific information, the Internet is unparalleled.” (Bell & Linn, 2002, S. 325)

Aufgrund der Einsatzmöglichkeiten in Schule und Hochschule bezeichnet Tsai (2008, S. 282) das Internet als epistemisches Tool. Bei der konkreten Nutzung des Internets als epistemisches Tool hält Tsai es für wichtig, Lernende zu unterstützen und anzuleiten, indem man sie folgende Fragen bei der Beurteilung verschiedener Informationsquellen beantworten lässt:

- Welche Informationen sind wichtiger als andere?
  - Welche Bestandteile an Informationen oder Wissen sind verlässlicher und gültiger als andere?
  - Was zählt als „Wissen“?
  - Welchen Charakter hat das jeweilige Wissen (oder Lernen)?
  - Wie können Konflikte zwischen verschiedenen Wissensperspektiven aufgelöst werden?
  - Wie können alle Arten des Wissens in einen kohärenten Rahmen integriert werden?
- (vgl. Tsai, 2008, S. 274)

Diese Fragen sollten Lernende dazu bringen, reflektierte Rechtfertigungen während der Navigation im Web zu leisten, informative Entscheidungen im Web-Kontext zu treffen und sinnvoll mit Materialien des Webs, mit Peers sowie mit Experten zu interagieren (S. 274).

Im Umgang und bei der Beurteilung verschiedener Informationsquellen sollten Lernende auch dadurch unterstützt werden, indem ihnen die Struktur der Wissensverteilung in der modernen Informationsgesellschaft veranschaulicht wird. Dies kann erreicht werden, indem im Zusammenhang mit der Entnahme von Informationen aus unterschiedlichen Quellen und deren Bewertung das Prinzip der kognitiven Arbeitsteilung explizit thematisiert wird (vgl. Bromme & Kienhues et al., 2010, S. 182).

Die in diesem Teilkapitel dargestellten Maßnahmen beziehen sich im Wesentlichen auf drei Aspekte, die für die Förderung und Veränderung des Wissenschaftsverständnisses in Schule und Hochschule bedeutsam sind: Lernkontext, Inhalt und Lehrperson. Sie werden im Folgenden für eine zusammenfassende Darstellung nochmals systematisiert aufgeführt:

- **Gestaltung des Lernkontexts:** mehr Diskussionen in Gruppen und Plenum und dafür weniger Lehrervortrag; Gestaltungs- und Konstruktionsaktivitäten; gemeinsame Wissenskonstruktion in Gruppen, komplexe Problemlöseprozesse, Praktiken der naturwissenschaftlichen Beweisführung nutzen, Reflexion des erworbenen Wissens (z. B. durch Journal-Writing)
- **Inhalte und deren Darbietung:** Auseinandersetzung mit konfligierenden Informationen (z.B. Klimaerwärmung) und Kontroversen (z. B. Aussterben der Dinosaurier); echte Experimente, deren Ausgang ungewiss ist; scheinbar sichere Inhalte, z. B. aus Schul- bzw. Lehrbüchern, hinterfragen; Förderung des selbstregulierten Umgangs mit

multiplen Texten und verschiedenen Informationsquellen und deren Beurteilung (z. B. im Internet); Internet als "epistemisches Tool" nutzen; Inhalte, die die Vorläufigkeit von Wissen aufzeigen bzw. die Sicherheit von Wissen nicht übermäßig betonen; Prinzip der „kognitiven Arbeitsteilung“ explizit aufzeigen

- **Lehrperson:** Reflexion der eigenen epistemischen Überzeugungen; Rolle als "epistemische Autorität" reflektieren und kontextbezogen damit umgehen (z. B. im Umgang mit Problemlösungshilfen)

Wie die Darstellungen in diesem Teilkapitel zeigen, sind diese drei Aspekte häufig miteinander verbunden oder bedingen sich gegenseitig.

Die Notwendigkeit der Veränderung von Unterrichtsroutinen und die zugrunde liegenden epistemischen Strukturen machen die besondere Bedeutung der Lehreraus- und Fortbildung deutlich. Lehrkräfte sollten sich zunächst ihrer eigenen persönlichen Epistemologie und deren Bedeutung für ihren Unterricht bewusst werden, um für das Wissenschaftsverständnis ihrer Schülerinnen und Schüler förderliche Lernkontexte im Unterricht zu schaffen, um darin entsprechende Inhalte zu bearbeiten.

## 2.6 Zusammenfassung

In der Psychologie ist es das Forschungsfeld der persönlichen Epistemologie, das das Wissenschaftsverständnis von Individuen erforscht. Empirisch wird untersucht, welche Überzeugungen und Ansichten Individuen zur Natur des Wissens und zur Natur des Wissenserwerbs haben. Im Forschungsfeld existiert eine Vielzahl an Ansätzen, die in ihrer Gesamtheit ein hohes Maß an terminologischer, konzeptioneller und methodologischer Heterogenität aufweisen. Alle Ansätze haben gemeinsam, dass sie der persönlichen Epistemologie eine bedeutsame Rolle für Lern- und Verstehensprozesse zuschreiben. Auch geht man in verschiedenen Ansätzen davon aus, dass ein Zusammenhang zwischen epistemischen Überzeugungen von Lehrenden und ihrem professionellen Handeln besteht. Unabhängig vom Ansatz geht es in der Forschung zur persönlichen Epistemologie im Kern immer um die Frage, wie Individuen Wissen im Hinblick auf dessen Sicherheit, Gültigkeit und „Wahrhaftigkeit“ einschätzen und beurteilen.

Vor allem in frühen Ansätzen wurde die persönliche Epistemologie bezüglich ihrer Entwicklung von der frühen Adoleszenz bis zum Erwachsenenalter untersucht und beschrieben. Dabei gehen die meisten Entwicklungsmodelle von einem schrittweisen und domänenunabhängigen Entwicklungsverlauf auf einem Kontinuum von „naiven“ zu „sophistizierten“ Ansichten und Überzeugungen aus. Bei der Erforschung der persönlichen Epistemologie kamen seit Beginn der 1990er Jahre zunehmend quantitative Methoden zum Einsatz, durch die sich die Hinweise verdichteten, dass epistemische Überzeugungen einen mehrdimensionalen und domänenspezifischen Charakter haben, was nicht mit den Beschreibungen der Entwicklungsmodelle zu vereinbaren erscheint. Der vermehrte Einsatz quantitativer Methoden, mit denen man u.a. Fak-

torstrukturen und Gruppenunterschiede in größeren Stichproben ermittelte, brachte das Problem mit sich, dass übergeneralisierend bestimmte Ansichten als „naiv“ oder „sophistiziert“ angesehen wurden, ohne bei der Beurteilung der Angemessenheit ausreichend kontextuelle Aspekte zu berücksichtigen. Gegen eine solche Übergeneralisierung wandte sich der Ansatz der epistemischen Ressourcen. In dieser Konzeptualisierung der persönlichen Epistemologie wird davon ausgegangen, dass Individuen über viele verschiedene epistemische Ressourcen verfügen, die sie je nach Kontext aktivieren. Von diesem Standpunkt aus erscheint es problematisch, bestimmte epistemische Überzeugungen, wie z. B. alles naturwissenschaftliche Wissen sei gleichermaßen sicher und unveränderlich, als grundsätzlich „naiv“ zu bezeichnen. Dem Ansatz wird einerseits in weiten Teilen des Forschungsfelds große Bedeutung beigemessen, da er die Rolle des Kontexts für die persönliche Epistemologie herausstellt und deshalb als Heuristik fruchtbare Implikationen, z. B. für die Interpretation empirischer Daten oder die Gestaltung von Lernprozessen, beinhaltet. Andererseits wurde der Ansatz auch kritisiert, da er beispielsweise aufgrund konzeptioneller Unklarheiten schwer empirisch prüfbar ist oder empirische Erkenntnisse zu stabileren Elementen der persönlichen Epistemologie nicht berücksichtigt.

Der Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile greift den Gedanken des hohen Kontextbezugs bei der Beurteilung von Wissen auf und erklärt die Bildung epistemischer Urteile mit der hohen Flexibilität der menschlichen Kognition, wie sie in der Theorie der Kognitiven Flexibilität beschrieben wird.

Die Bildung epistemischer Urteile wird so beschrieben, dass unterschiedliche kognitive Elemente, wie z. B. Wissen zum Thema, Annahmen zur Ontologie und stabilere epistemische Überzeugungen, kontextbezogen aktiviert werden und miteinander interagieren. Als sophistiziert werden in diesem Erklärungsansatz diejenigen epistemische Überzeugungen bezeichnet, die kontextbezogene Urteile zulassen.

Aufgrund der Unterscheidung zwischen stabilen epistemischen Überzeugungen und epistemischen Urteilen, die durch die flexible kontextspezifische Aktivierung und Interaktion unterschiedlicher kognitiver Elemente zustande kommen, lassen sich inkonsistente Forschungsergebnisse erklären und Konsequenzen für Forschungsmethoden sowie Lehr- und Lernprozesse ableiten, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit berücksichtigt werden. Inkonsistente Ergebnisse im Forschungsfeld erscheinen plausibel, wenn man davon ausgeht, dass viele Messinstrumente nicht epistemische Überzeugungen, sondern kontextspezifische epistemische Urteile erheben, und dabei Studienteilnehmende individuell verschieden kognitive Elemente bei der Urteilsbildung aktivieren. Deshalb werden im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile solche Forschungsdesigns gefordert, die ein besseres Verständnis für die Bildung epistemischer Urteile ermöglichen. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, indem man neben den konnotativen epistemischen Urteilen auch denotatives Wissen misst, um so auf die im Prozess der Urteilsbildung aktivierten kognitiven Elemente zu schließen. Ebenso erscheint es sinnvoll,

epistemische Urteile und Fachwissen disziplin- und themenspezifisch zu erheben, um die epistemischen Urteile und das zugrunde liegende Fachwissen von Experten und Laien vergleichen zu können.

Eine Implikation des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile für Lehr- und Lernprozesse ergibt sich aus der besonderen Bedeutung des Fachwissens im Prozess der epistemischen Urteilsbildung. Disziplinspezifisches Wissen, beispielsweise in Form von Faktenwissen und Wissen über Methoden der Disziplin, beeinflussen als kognitive Elemente die Bildung epistemischer Urteile. Es wird davon ausgegangen, dass durch den Erwerb von disziplinspezifischem Inhaltswissen Einfluss auf die epistemische Urteilsbildung genommen werden kann. Genauso wird angenommen, dass bei der epistemischen Beurteilung von kontextspezifischem Wissen die aktivierten kognitiven Elemente Auswirkungen auf stabilere epistemische Überzeugungen haben, wodurch sich mittel- und langfristig angemessene disziplin- und kontextspezifische epistemische Überzeugungen entwickeln können. Diese Überlegungen werden für die Intervention im Rahmen des empirischen Teils dieser Arbeit in der Form aufgegriffen, dass Studierende in Hochschulveranstaltungen in einem für die persönliche Epistemologie förderlichen Kontext sich mit Inhalten auseinandersetzen, die für die Bildung angemessener epistemischer Urteile dienlich sind.

### 3. Nature of Science

#### 3.1 Konzept

Die Natur der Naturwissenschaften (Nature of Science/NOS) ist schon seit mehreren Jahrzehnten Forschungsgegenstand der Naturwissenschaftsdidaktik und hat ihre Anfänge zu Beginn des 20. Jahrhunderts (vgl. Lederman, 2007, S. 831–879). Dabei bestehen Unterschiede in den Beschreibungen und Definitionen von Nature of Science, was unter anderem daran liegt, dass je nach Ansatz verschiedene Aspekte unterschiedlicher Wissenschaften als Bestandteile der Nature of Science angesehen werden. So charakterisieren McComas, Almazroa und Clough (1998) Nature of Science als ein hybrides Feld, das verschiedene Aspekte sozialwissenschaftlicher Untersuchungen zu den Naturwissenschaften (Geschichte, Soziologie und Philosophie der Naturwissenschaften) mit Forschung der Erkenntnislehre vermischen und so zu einer ergiebigen und nützlichen Beschreibung dessen kommen, was Naturwissenschaft ist und wie sie funktioniert (S. 512).

Auch wenn die Sichtweisen zum Charakter der Naturwissenschaften in unterschiedlichen philosophischen und wissenschaftstheoretischen Details divergieren und dabei kontrovers diskutiert wird, welche Aspekte der Natur der Naturwissenschaften letztendlich relevant für die schulische Bildung sind, gibt es doch auf einer übergeordneten Ebene Konsens über NOS-Inhalte für den naturwissenschaftlichen Unterricht.

**Tabelle 3.1:** Konsens zu Nature of Science-Grundsätzen aus acht internationalen Standarddokumenten zum naturwissenschaftlichen Unterricht (übersetzt nach McComas et al., 1998, S. 513)

- 
- Trotz seiner Langlebigkeit hat naturwissenschaftliches Wissen einen veränderlichen Charakter
  - Naturwissenschaftliches Wissen beruht größtenteils, aber nicht gänzlich, auf Beobachtung, experimenteller Evidenz, rationaler Argumentation und Skepsis
  - Es gibt nicht *den* Weg in den Naturwissenschaften (folglich existiert keine universelle Schritt-für-Schritt-Methode)
  - Naturwissenschaft ist ein Versuch, natürliche Phänomene zu erklären
  - Gesetze und Theorien haben in den Naturwissenschaften unterschiedliche Aufgaben, folglich sollten Schüler erkennen, dass Theorien nicht zu Gesetzen werden können
  - Menschen aller Kulturen tragen zur Naturwissenschaft bei
  - Neues Wissen muss klar und offen berichtet werden
  - Wissenschaftler benötigen genaues Aufzeichnen, Begutachtung durch Fachkollegen und Replizierbarkeit
  - Beobachtungen sind theoriegeladen
  - Wissenschaftler sind kreativ
  - Die Geschichte der Naturwissenschaften zeigt sowohl evolutionären als auch revolutionären Charakter
  - Naturwissenschaft ist Teil sozialer und kultureller Tradition
  - Naturwissenschaften und Technik beeinflussen sich gegenseitig
  - Naturwissenschaftliche Ideen werden durch ihre soziale und historische Tradition beeinflusst
-

McComas et al. (1998) verglichen die naturwissenschaftlichen Standards vom Kindergarten bis zur Oberstufe (K–12) von acht Ländern. Dabei arbeiteten sie aus den Dokumenten Ansichten/ Wissensinhalte der Nature of Science heraus, zu denen sie in den Standards Übereinstimmungen fanden. Diese NOS-Grundsätze finden sich in Tabelle 3.1.

Die aus den Standardpapieren extrahierten Inhalte zeigen Parallelen und Überschneidungen zu den Aspekten der Nature of Science, wie sie in der naturwissenschaftlichen Forschung diskutiert werden und die die Grundlage bei der Untersuchung der individuellen NOS-Ansichten von Lehrenden und Lernenden in Schule und Hochschule darstellen. Diese Aspekte werden im Folgenden vorgestellt.

### 3.1.1 Aspekte der Nature of Science

In der Naturwissenschaftsdidaktik besteht weitgehender Konsens über die Aspekte der Nature of Science. Dabei gilt die Konzeption von Lederman et al. (Lederman, 2007; Lederman et al., 2002), auf die im Folgenden eingegangen wird, als eine der einflussreichsten. Zusätzlich zur Beschreibung der NOS-Aspekte nach Lederman et al. werden exemplarische angemessene bzw. unangemessene<sup>1</sup> Ansichten vorgestellt, um mögliche Inhalte der NOS-Aspekte zu illustrieren. Die angeführten Beispiele beziehen sich auf das Erhebungsinstrument VNOS (Views of Nature of Science Questionnaire) und wurden nach Lederman et al. (2002, S. 514–516) übersetzt.

#### *Beobachten und Schlussfolgern*

Individuen sollten die grobe Unterscheidung zwischen Beobachten und Schlussfolgern kennen. Beobachtungen sind Beschreibungen natürlicher Phänomene, die den menschlichen Sinnen (oder deren Erweiterungen) zugänglich sind und über die Beobachter relativ einfach Konsens erreichen können. Schlussfolgerungen gehen dagegen über die Sinneswahrnehmungen hinaus. So kann jemand Erklärungen von beobachteten Phänomenen bezüglich ihrer Funktion entwickeln. Auf einer höheren Ebene können Wissenschaftler aus Beobachtungen Modelle oder Mechanismen ableiten, die Erklärungen komplexer Phänomene liefern (z. B. Klimamodelle, Evolution) (Lederman, 2007, S. 833).

Unangemessene Sichtweise: „Naturwissenschaft ist etwas Einfaches und Geradliniges. Sie beschäftigt sich mit Fakten. Deshalb gibt es in ihr nicht viel Raum für Interpretationen und eigene Meinungen.“

---

<sup>1</sup> In der Literatur existiert eine heterogene Terminologie, wenn es um die Dichotomie zwischen angemessenen und unangemessenen NOS-Ansichten geht. Es finden sich beispielsweise folgende Bezeichnungen: „naiv – sophistisch“ bei Schwartz, Lederman und Lederman (2008), „naiv – laboriert“ bei Hofheinz (2008), „naiv – informiert“ bei Lederman, Abd-El-Khalick, Bell und Schwartz (2002), „uninformiert – informiert“ bei Liang et al. (2006), „angemessen – unangemessen“ bei Abd-El-Khalick und Lederman (2000).

Angemessene Sichtweise: „Was wir beobachten beruht auf Konventionen. Das Ziel der Naturwissenschaft ist nicht die Anhäufung möglichst vieler Fakten. Vielmehr beinhaltet Naturwissenschaft Abstraktion, eine Stufe der Abstraktion nach der anderen“ (Lederman et al., 2002, S. 514).

#### *Gesetze und Theorien*

Eng verbunden mit der Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung ist die Unterscheidung zwischen naturwissenschaftlichen *Gesetzen* und *Theorien*. Häufig verfügen Individuen über die Vorstellung eines hierarchischen Verhältnisses zwischen Theorien und Gesetzen (z. B. „Theorien werden zu Gesetzen, wenn sie endgültig bewiesen sind“). Aus dieser Auffassung folgt oft die Ansicht, Gesetze hätten einen höheren Status als wissenschaftliche Theorien. Theorien und Gesetze sind jedoch vielmehr gleichwertige, aber verschiedene Arten von Wissen. Gesetze sind Aussagen oder Beschreibungen zu beobachtbaren Phänomenen. Im Unterschied dazu sind Theorien aus der Beobachtung natürlicher Phänomene abgeleitete Erklärungen. Naturwissenschaftliche Modelle sind üblicherweise Beispiele für Theorien und Schlussfolgerungen (Lederman, 2007, S. 833–834).

Unangemessene Sichtweise: „Naturgesetze waren einmal Theorien und manche von ihnen wurden zu Gesetzen, nachdem sie wiederholt bewiesen wurden.“

Angemessene Sichtweise: „Ein Naturgesetz beschreibt quantitativ die Beziehungen zwischen Phänomenen. Naturwissenschaftliche Theorien bestehen aus Konzepten, die mit bekannten Beobachtungen übereinstimmen oder über diese hinaus gehen, um erklärende Modelle für die Welt zu liefern“ (Lederman et al., 2002, S. 515).

#### *Vorstellungskraft und Kreativität*

Obwohl naturwissenschaftliches Wissen zumindest in Teilen auf Beobachtung basiert und/oder aus Beobachtung abgeleitet wird, bedarf es trotz allem menschlicher Vorstellungskraft und Kreativität. Die Naturwissenschaften sind im Gegensatz zu weit verbreiteten Vorstellungen nicht komplett leblos, rational und geprägt durch geordnete Aktivitäten. Die Naturwissenschaften schließen die Innovation von Erklärungen ein und verlangen von den Wissenschaftlern ein hohes Maß an Kreativität. Diese Aspekte von Naturwissenschaft, gekoppelt mit der inferentiellen Natur der Naturwissenschaften, bedingen, dass Konzepte, wie z. B. Atome, Schwarze Löcher oder Spezies eher als funktionale theoretische Modelle statt als getreue Abbildungen der Realität anzusehen sind (Lederman, 2007, S. 834).

Unangemessene Sichtweise: „Ein Forscher benötigt lediglich Kreativität beim Sammeln von Daten. Für die weitere Arbeit besteht jedoch kein Raum für Kreativität, denn ein Forscher muss objektiv sein.“

Angemessene Sichtweise: „Logik spielt im Forschungsprozess eine bedeutende Rolle. Aber Vorstellungskraft und Kreativität sind unerlässlich für die Formulierung neuer Ideen, um zu erklären, warum die Ergebnisse beobachtet wurden“ (Lederman et al., 2002, S. 515).

*Subjektivität und Theoriegebundenheit*

Naturwissenschaftliches Wissen ist subjektiv und theoriegebunden. Die theoretischen Bindungen von Wissenschaftlern, ihre Überzeugungen, ihr Vorwissen, ihre Ausbildung, ihre Erfahrungen und Erwartungen beeinflussen ihre Arbeit. All diese Faktoren führen zu Einstellungen und Haltungen, die die Forscher/innen darin beeinflussen, wie sie wissenschaftliche Herausforderungen angehen, Fragen stellen oder ihre Analysen durchführen. Naturwissenschaftliche Untersuchungen beginnen also nicht mit neutralen Beobachtungen. Beobachtungen und Untersuchungen werden motiviert und geleitet durch Fragestellungen, die aus bestimmten theoretischen Perspektiven heraus entwickelt werden (Lederman, 2007, S. 834).

Unangemessene Sichtweise: „Forscher sind sehr objektiv, da sie eine Ansammlung von wissenschaftlichen Prozeduren nutzen, um Probleme zu lösen.“

Angemessene Sichtweise: „Wissenschaftler sind Menschen. Sie lernen und denken jeweils unterschiedlich, wie es alle Menschen tun. Sie interpretieren deshalb dieselben Daten aufgrund ihrer Art des Denkens und aufgrund ihres Vorwissens unterschiedlich“ (Lederman et al., 2002, S. 516).

*Soziale Einbettung der Naturwissenschaften*

Die Naturwissenschaften sind menschliche Unternehmungen, die im Rahmen einer übergeordneten Kultur betrieben werden. Die praktizierenden Wissenschaftler sind ein Produkt dieser Kultur. Entsprechend beeinflussen die Naturwissenschaften verschiedene Elemente der Kultur (z. B. Gesellschaftsstruktur, Machtstrukturen, Politik, Religion), in die sie eingebettet sind und werden durch diese beeinflusst (Lederman, 2007, S. 834).

Unangemessene Sichtweise: „In den Naturwissenschaften geht es um Fakten. Diese können nicht durch Kulturen und Gesellschaft beeinflusst werden. Atome sind Atome, egal ob in den USA oder in Russland.“

Angemessene Sichtweise: „Natürlich beeinflusst die Kultur die Ideen in den Naturwissenschaften. Erst 100 Jahre nach Kopernikus wurden seine Ideen beachtet, denn die Kirche bevorzugte aus Glaubensgründen das geozentrische Weltbild“ (Lederman et al., 2002, S. 516).

*Vorläufigkeit*

Aus den bisher dargestellten Punkten folgt, dass naturwissenschaftliches Wissen nie absolut oder sicher ist. Naturwissenschaftliches Wissen, das Fakten, Theorien und Gesetze beinhaltet, ist vorläufig und kann sich jederzeit verändern (Lederman, 2007, S. 834).

Unangemessene Sichtweise: „Wenn man immer und immer wieder dasselbe Ergebnis erhält, dann kann man sich sicher sein, die Theorien als Naturgesetz, als Tatsache, bestätigt zu haben.“

Angemessene Sichtweise: „Alles in der Naturwissenschaft kann sich aufgrund von Beweisen und Interpretationen verändern. Wir können niemals hundertprozentig sicher sein“ (Lederman et al., 2002, S. 515).



Lederman et al. (2002) und Lederman (2007) weisen darauf hin, die genannten Aspekte hätten nicht den Anspruch auf Vollständigkeit und könnten sich mit der Entwicklung der Naturwissenschaften und der fachdidaktischen Forschung zu Nature of Science verändern. Die inhaltliche Ausgestaltung des Konstrukts durch die Benennung der unterschiedlichen Aspekte hat sich über die letzten 100 Jahre entwickelt und immer weiter ausgebildet. So verstand man zu Beginn des 20. Jahrhunderts unter Nature of Science vor allem das Verständnis der naturwissenschaftlichen Methode, in den 1960er Jahren das Verständnis wissenschaftlicher Prozess- und Arbeitskompetenzen. In den 1970er Jahren waren es vor allem epistemische Aspekte naturwissenschaftlichen Wissens, die die Nature of Science beinhalteten. Seit den 1980er Jahren wurden weitere psychologische und soziokulturelle Aspekte ergänzt (vgl. Deng et al., 2011, S. 962). Selbst die NOS-Aspekte nach Lederman et al. haben sich in den letzten Jahren verändert. Im Unterschied zur Veröffentlichung des Jahres 2002 findet sich 2007 der Aspekt „Mythos der naturwissenschaftlichen Methode“ nicht mehr. Es geht bei diesem Aspekt um Annahmen zum methodischen Vorgehen in der naturwissenschaftlichen Forschung. Mittlerweile wird dieser Aspekt als Teil der Ansichten zum naturwissenschaftlichen Forschen (*Scientific Inquiry*) konzeptualisiert (vgl. Lederman et al., 2014, S. 68), was auch an der häufig geäußerten Kritik im Forschungsfeld liegen dürfte, Ansichten zu Scientific Inquiry als Teil der Nature of Science zu konzeptualisieren (vgl. Deng et al., 2011, S. 963). Bezüglich Nature of Science und Scientific Inquiry stellt Lederman (2007, S. 835) fest, sie würden häufig konfundiert. Obwohl sie auf wichtige Weise miteinander interagieren und sich überschneiden, hält er es trotzdem für geboten, sie zu unterscheiden. So beschreibt er ausgehend von den NRC-Standards (NRC, 1996) naturwissenschaftliche Prozesse als Aktivitäten, die mit Tätigkeiten des Datensammelns und der Analyse zu tun haben. Komplexer als einzelne Aktivitäten sind Untersuchungen (*scientific inquiry*), die einzelne Aktivitäten beinhalten. Nature of Science bezieht sich dagegen auf die erkenntnistheoretischen und soziologischen Grundlagen dieser Aktivitäten und Untersuchungen und auf die Charakteristik des resultierenden Wissens. Trotzdem betont Lederman, die Unterscheidung zwischen Nature of Science und Scientific Inquiry bedeute nicht, die Konstrukte seien komplett verschieden: *“Making a distinction between NOS and scientific inquiry was in no way meant to imply that the two constructs are distinct. Clearly, they are intimately related”* (Lederman, 2007, S. 835).

Neben den Konzeptualisierungen von Lederman und Kollegen existieren weitere Konzeptionen von Nature of Science, die in den wesentlichen Aspekten mehr oder weniger mit Ledermans Aspekten übereinstimmen, jedoch auch andere Aspekte beinhalten können (vgl. dazu auch Neumann & Kremer, 2013, S. 217). Ganz im Sinne von Lederman, der keinen Anspruch auf Vollständigkeit seiner Liste erhebt, argumentiert Matthews (2012, S. 18–20), die Liste könne beliebig um zusätzliche Punkte erweitert werden und zählt dabei exemplarisch folgende weitere mögliche Aspekte der Nature of Science auf: *Idealisierung* (z. B. welche Rolle hat Idealisierung in den Naturwissenschaften? Welche Funktion hat sie?), *Modelle* (z. B. Allgegenwärtigkeit von Modellen in der Geschichte und Gegenwart der Naturwissenschaften, vgl. dazu auch Mikelskis-

Seifert & Leisner, 2004), *Experimentieren* (z. B. die bedeutsame Rolle des Experiments in den Naturwissenschaften seit Beginn der Neuzeit).

### 3.1.2 Bezüge und Abgrenzung zur Philosophie

Das Lernen der Natur der Naturwissenschaften wird in deutschsprachigen Darstellungen als das Thematisieren erkenntnis- und wissenschaftstheoretischer sowie ethischer Fragen im naturwissenschaftlichen Unterricht beschrieben (z. B. Kircher, 2015c). Kircher (2015b) benennt beispielsweise Realismus sowie Pragmatismus/Instrumentalismus als erkenntnistheoretische Aspekte, Methodologie der Physik sowie Modell, Theorie, Experiment als wissenschaftstheoretische Aspekte und Wissenschaftsethik als ethische Aspekte der Natur der Naturwissenschaften (S. 820). Als wissenschaftstheoretische Inhalte und Ziele nennt Kircher z. B. wissenschaftstheoretische Erörterungen, die die Auseinandersetzung mit Inhalten, wie beispielsweise „Theorie“, „Modell“ und „Gesetz“ und die kritische Auseinandersetzung mit Begriffen, die die naturwissenschaftliche Methodologie betreffen, wie z. B. „hypothetisch deduktive“ und „induktive Methode“ oder „Falsifikation“ und „Verifikation“ (S. 815). Kircher stellt die kritische Frage, inwiefern erkenntnistheoretische und wissenschaftstheoretische Aspekte im Unterricht zu trennen sind und ob das Lernen der Natur der Naturwissenschaften aufgrund des hohen Anspruchs nur auf die Oberstufe beschränkt bleiben sollte. Seiner Ansicht nach sollten einige Themen klar in der Oberstufe verortet sein, manche philosophischen Aspekte aber schon in früheren Jahrgangsstufen ihren Platz finden. Insgesamt geht es Kircher beim Lernen über die Natur der Naturwissenschaften in der Schule nicht um die „wahre“ Erkenntnistheorie, sondern vielmehr „um Argumente, um das Für und Wider, um Interpretationen“ (Kircher, 2015b, S. 812).

Die Abgrenzung von „echter“ Wissenschaftstheorie und Erkenntnistheorie und die Angemessenheit verschiedener Aspekte von Nature of Science bei der Behandlung in Schule und Lehrerbildung ist immer wieder Gegenstand intensiver Diskussionen in der fachdidaktischen Forschung. Alters (1997) hat untersucht, inwiefern Wissenschaftstheoretiker verschiedenen Aussagen zu grundlegenden NOS-Aspekten, die aus der NOS-Literatur wörtlich entnommen wurden, zustimmen und ob ein Zusammenhang zwischen den wissenschaftstheoretischen Positionen der Wissenschaftstheoretiker (z. B. Positivismus, Realismus) und ihrer Zustimmung bzw. Ablehnung gegenüber den Aussagen besteht. Die befragten Wissenschaftstheoretiker äußerten zum einen deutliche Kritik an einigen der Aussagen (z. B. „*Consensus among self-appointed experts is the basis of scientific knowledge*“). Zum anderen variieren die Ansichten der einzelnen Wissenschaftstheoretiker zu den Aussagen deutlich. Alters fordert deshalb, es sollten die in der Naturwissenschaftsdidaktik gängigen NOS-Aspekte neu überdacht werden. Aufgrund des nicht bestehenden Konsens von Wissenschaftstheoretikern zu einzelnen Positionen bemängelt er ferner die Angemessenheit der Instrumente, die zur Erhebung der NOS-Ansichten genutzt werden (Alters, 1997, S. 48–49).

Smith und Lederman (1997) wiederum kritisieren Alters Einwand. Es existiere zwar unter Wissenschaftstheoretikern bezüglich einzelner Detailfragen zu bestimmten Aspekten der Nature of

Science kein oder nur geringer Konsens. Dem stehe jedoch das beträchtliche Ausmaß an Übereinstimmung zu NOS-Aspekten in internationalen Standard-Dokumenten gegenüber (Smith & Lederman, 1997, S. 1102). Darüber hinaus stellen sie in Frage, ob die divergierenden Meinungen der Wissenschaftstheoretiker in philosophischen Detailfragen überhaupt praktische Relevanz für die Auseinandersetzung mit Nature of Science in der Schule haben. Smith und Lederman gehen davon aus, dass auf übergeordneter Ebene beispielsweise keine Uneinigkeit über die veränderliche oder empirische Natur der Naturwissenschaften besteht (Smith & Lederman, 1997, S. 1102). Smith und Lederman erkennen in Alters Kritik gleichzeitig die Aufforderung an die Lehrkräfte, einen philosophisch-pluralistischen Zugang bei der Behandlung von Nature of Science im Unterricht zu ermöglichen, in dem die Natur der Naturwissenschaften aus verschiedenen wissenschaftstheoretischen Positionen (z. B. Positivismus, Realismus) heraus beleuchtet wird. Sie bezweifeln, dass Lehrkräfte in der Schule gewillt oder überhaupt in der Lage seien, dieser Empfehlung Folge zu leisten (Smith & Lederman, 1997, S. 1102). Hinweise darauf, dass Lehrkräfte eher selbst Probleme bei einem solchen wissenschaftstheoretisch fundierten philosophisch-pluralistischen Zugang hätten, geben auch McComas et al. (1998). Sie verweisen auf verschiedene Studienergebnisse, die zeigen, dass Lehrkräfte zum einen geringe Kenntnisse darüber besitzen, wie Wissenschaft wirklich funktioniert und dass sie zum anderen keine konsistenten wissenschaftstheoretischen Positionen einnehmen. Ferner finde sich bei Lehrkräften und in Unterrichtsmaterialien tendenziell eine eher überholte positivistische Grundhaltung (S. 516). Auf der Ebene der Lehrerbildung könnten zwar wissenschaftshistorische und wissenschaftstheoretische Kurse durchaus dabei helfen, Lehrkräfte bei der Entwicklung angemessener NOS-Ansichten zu unterstützen, denn Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftstheorie sind der Stoff („stuff“) aus dem Nature of Science bestehen (Abd-El-Khalick, 2005, S. 38). Abd-El-Khalick stellt aber in Frage, ob Seminare und Vorlesungen zu Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte in der Lehrerbildung automatisch zu einem substantiell verbesserten NOS-Verständnis führen. Er verweist dabei auf Studien, die zeigen, dass wissenschaftsgeschichtliche Kurse ohne explizite Vermittlung der Nature of Science das NOS-Verständnis von Naturwissenschaftslehrern nicht effektiv verbesserten. Des Weiteren verweist er auf die ohnehin schon überfüllten Curricula der Lehrerbildung, die eine Ergänzung mit substantiellen Seminaren und Vorlesungen zu Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftstheorie als unmöglich erscheinen lassen (Abd-El-Khalick, 2005, S. 38). In diesem Sinne argumentiert auch Matthews (2012, S. 21), der es als unrealistisch ansieht, Studierende oder Lehreranwärter zu kompetenten Historikern, Soziologen oder Philosophen der Naturwissenschaften auszubilden. Man brauche nicht Philosophie künstlich ins Klassenzimmer einzuführen und Schüler mit hochaktuellen philosophischen Sachverhalten überfordern, denn es gebe ohnehin unzählige grundlegende philosophische Fragen, wie z. B.: „Was ist eine naturwissenschaftliche Erklärung?“, „Was ist ein kontrolliertes Experiment?“, „Wie funktionieren Modelle in den Naturwissenschaften?“, „Haben Newtons religiöse Überzeugungen seine Forschung beeinflusst?“. Es gehe also nicht darum, Wissenschaftstheorie in der Schule zu unterrichten, sondern darum,

naturwissenschaftliches Lernen zu erweitern und ein größeres Bewusstsein für den intellektuellen Reiz und für die Leistung von Wissenschaft zu fördern. Wissenschaft soll so als eine kulturelle Aktivität erkannt werden, die andere Bereiche des Lebens, wie z. B. Religion, Ethik und Philosophie beeinflusst und von diesen wiederum ihrerseits beeinflusst wird (Matthews, 1989, S. 12).

Auf die normativen Setzungen der Lerninhalte und der eher wissenschaftstheoretischen Herangehensweise bei der Ausschärfung von Nature of Science, die immer wieder neu auf Basis der Bezugswissenschaften, wie z. B. der Philosophie, Soziologie sowie den naturwissenschaftlichen Disziplinen, geleistet werden muss (vgl. Kircher & Dittmer, 2004; Neumann & Kremer, 2013), lassen sich zum Teil auch offene Fragestellungen und bestehende Probleme in der Forschung zu Nature of Science zurückführen. Diese offenen Probleme werden in Kapitel 3.3 erörtert.

### 3.2 Bedeutung

Die empirische Erforschung der individuellen Sichtweisen zu Nature of Science und deren Auswirkungen auf das Lernen der Naturwissenschaften hat einen prinzipiellen Domänenbezug und insofern eine hervorgehobene Bedeutung in den Didaktiken der Naturwissenschaften. Die Forschung interessiert sich dabei schwerpunktmäßig für die Ansichten von Individuen und wie angemessene Ansichten zur Natur der Naturwissenschaften in Schule und Lehrerbildung vermittelt werden können. Den Ansichten zu Nature of Science wird für das Lernen naturwissenschaftlicher Inhalte große Bedeutung zugeschrieben. Viele Studien zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen den Ansichten zu Nature of Science und dem schulischen Lernerfolg in den naturwissenschaftlichen Fächern, wobei einzelne NOS-Aspekte größere Bedeutung als andere für den Lernerfolg haben. Beispielsweise sind Ansichten zur naturwissenschaftlichen Methode Prädiktoren für den Gebrauch von Problemlösestrategien von Schülerinnen und Schülern (vgl. Deng et al., 2011, S. 969–973).

Die Bedeutung der Ansichten zu Nature of Science weisen jedoch über den Kontext von Schule, Unterricht und dem Lernen naturwissenschaftlicher Inhalte hinaus. Naturwissenschaftliche Grundbildung (scientific literacy), die das Verständnis der Nature of Science beinhaltet, wird im Rahmen aktueller Diskussionen um Bildungsstandards als wichtiger Aspekt der Allgemeinbildung verstanden (vgl. Duit, Häußler & Prenzel, 2002, S. 170). „*Eine naturwissenschaftliche Grundbildung soll die Menschen dazu befähigen, sich in einer durch Naturwissenschaften und Technik geprägten Welt zurechtzufinden und aktiv an ihr teilzunehmen*“ (Rönnebeck, Schöps, Prenzel, Mildner & Hochweber, 2010, S. 178). Die bildungstheoretische Bedeutung und Dimension eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses mit der Ausweitung des naturwissenschaftlichen Unterrichts um eine Metastruktur, bei der auch gesellschaftliche, politische und ethische Implikationen eine Rolle spielen, wird deutlich, wenn sie in Bezug zur Lösung *epochaltypischer Schlüsselproblemen* nach Klafki gesetzt werden (vgl. Kircher & Dittmer, 2004).

Als Kernelemente aller epochaltypischer Schlüsselprobleme nennt Klafki (2007) beispielsweise die Friedensfrage, die Umweltfrage und die Frage nach den Gefahren und Möglichkeiten der neuen technischen Steuerungs-, Informations- und Kommunikationsmedien (S. 56-59). In einem Unterricht, der die Auseinandersetzung mit Nature of Science beinhaltet, hat nicht nur die Frage Relevanz, wie die Naturwissenschaften (und die damit zusammenhängende Technik) dabei helfen können, die epochaltypischen Schlüsselprobleme zu lösen. Vielmehr ist auch von hoher Bedeutung, wie Naturwissenschaft und Technik sich auf die Gesellschaft sowie die Lebensstile und Weltbilder ihrer Individuen auswirken (Kircher & Dittmer, 2004, S. 3).

### 3.2.1 Überfachliche Einordnung

Aus der fachdidaktischen Perspektive kommt dem individuellen und öffentlichen Wissenschaftsverständnis, ähnlich wie in der psychologischen Forschung zur persönlichen Epistemologie, hohe Bedeutung für eine moderne Wissensgesellschaft zu. Trotz des klaren Bezugs der Nature of Science zu den naturwissenschaftlichen Fächern wird in der Literatur zu Nature of Science die Bedeutung des Verständnisses der Nature of Science über Schule und Universität hinaus erörtert. Es geht demnach um die Einordnung der Bedeutung der Nature of Science für Individuen außerhalb des Faches bzw. der akademischen Disziplinen. Nachfolgend wird diese Bedeutung der Nature of Science, die über die Auseinandersetzung in institutionalisierten Bildungsprozessen hinausweist, so umrissen, wie sie in der Literatur zu Nature of Science diskutiert wird. Dabei wird die Bedeutung der Nature of Science entlang bestehender Kommunikationsproblemen zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit sowie existierenden Fehlvorstellungen seitens der Öffentlichkeit illustriert.

Beim Transport und der Verbreitung von naturwissenschaftlichem Wissen in der Öffentlichkeit stehen die (Natur-)Wissenschaften vor einem grundsätzlichen kommunikativen Problem. Die effektive Kommunikation naturwissenschaftlicher Ergebnisse und Erkenntnisse in der Öffentlichkeit unterliegen häufig bestimmten Schwierigkeiten, die mit den menschlichen Mustern der Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Kognition zu tun haben. Diese Muster bestimmen, wie Menschen mit Informationen umgehen und stehen im Widerspruch zu den Anforderungen der Verarbeitung komplexer wissenschaftlicher Informationen und mit dem in der Wissenschaft produzierten Wissen (Grotzer, Miller & Lincoln, 2012, S. 27). Die besondere Epistemologie der Naturwissenschaften erfordert für ein tiefergehendes Verständnis von Ergebnissen aus Wissenschaft und Forschung nachhaltige Aufmerksamkeit. Diese nachhaltige Aufmerksamkeit wäre vor allem für ein Verständnis der Prozesse und vielfältigen Methoden nötig, anhand derer Wissenschaftler/innen Wissen generieren. Aufgrund verschiedener Faktoren ist diese nachhaltige Aufmerksamkeit jedoch nicht gegeben. In der Öffentlichkeit existieren dagegen eher schablonenhafte Bilder und stereotype Vorstellungen darüber, wie Wissenschaftler arbeiten. So ist beispielsweise häufig die Vorstellung anzutreffen, dass Wissenschaftler grundsätzlich und ausschließlich einer bestimmten schrittweisen Vorgehensweise im Forschungsprozess folgen (S. 41).

Ein anderer Aspekt, der zu Irritationen zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit führt, ist ein divergierendes Wissenschaftsverständnis auf beiden Seiten. So wird beispielsweise der Aspekt der Unsicherheit unterschiedlich eingeschätzt. Wissenschaftler sehen Unsicherheit als einen wesentlichen Bestandteil ihrer Arbeit an. Forschung ist geprägt durch den fortlaufenden Prozess von Vision und Revision, dem Aufstellen, Überprüfen und etwaigen Verwerfen von Hypothesen. Wenn es nicht gelingt, die Bedeutung wissenschaftlicher Unsicherheit adäquat der Öffentlichkeit zu vermitteln, kann das in der öffentlichen Wahrnehmung zu Irritationen und Frustration führen, da sich die Gesellschaft von der Wissenschaft klare und sichere Antworten auf aktuelle Fragen erhofft. Eine unangemessene Vorstellung von Unsicherheit kann dazu führen, dass Teile der Öffentlichkeit den Wert (natur-)wissenschaftlichen Wissens anzweifeln und eher in andere, scheinbar sicherere Formen des Wissens, wie z.B. der Esoterik oder pseudowissenschaftlichem Wissen, vertrauen (Grotzer et al., 2012, S. 42–43).

Eine weitere Erklärung für die Probleme bei der Vermittlung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses bietet Shapin (1992) an. Er argumentiert, im Unterschied zum Beginn der Neuzeit werde Forschung heute größtenteils abseits öffentlicher Zugänglichkeit betrieben. Im England des 17. Jahrhunderts lebten Wissenschaftler dagegen meist dort, wo sie forschten, hatten an ihren Wohnorten ihre Labore, waren dort anzutreffen und erreichbar. Entsprechend wurden ihre Forschungsergebnisse und Theorien viel eher als heute im unmittelbaren öffentlichen Raum wahrgenommen und diskutiert. Heute dagegen wird Wissen in der Forschung typischerweise in den am stärksten von der Öffentlichkeit abgeschotteten Bereichen generiert. Shapin (1992, S. 27) illustriert das mit dem Beispiel eines fiktiven Nachbarn oder Freundes, der als Teilchenphysiker im CERN in Genf arbeitet und den man nicht ohne weiteres an seinem Arbeitsplatz besuchen könne, indem man einfach in das Kernforschungszentrum hineinspaziert.

Aufgrund der weitgehenden Trennung von Wissenschaftsbetrieb und Öffentlichkeit übernehmen Medien in großen Teilen die Aufgabe, die Öffentlichkeit über Wissenschaft und deren Erkenntnisse und Erkenntnisprozesse zu informieren. Entsprechend haben Medien großen Einfluss auf das öffentliche Wissenschaftsverständnis und tragen durch die Art der Berichterstattung zum Wissen über wissenschaftliche Forschung und deren Image in der Öffentlichkeit bei. Medien betonen bei ihrer Darstellung von Forschung häufig Kontroversen, heben die Forscherpersönlichkeiten hervor, werten vorangegangene Forschung ab, fördern die polarisierte Darstellung verschiedener theoretischer Lager und ignorieren oder vereinfachen methodologische und technologische Einschränkungen von Forschungsergebnissen. Zusammenfassungen wissenschaftlicher Untersuchungen werden eher mit anekdotenhafter Evidenz statt durch überzeugende Forschungsergebnisse berichtet (Bell & Linn, 2002, S. 323). Werbung, Verbraucherinformationen, historische Darstellungen, Darstellungen in Schulbüchern und im Internet vermitteln Bilder von Wissenschaft und damit ein mehr oder weniger angemessenes Wissenschaftsverständnis.

Die genannten Aspekte zeigen, wie durch Spezialisierung in modernen Gesellschaften Wissen verteilt und kommuniziert wird (vgl. dazu auch „kognitive Arbeitsteilung“, S. 19) und wie dabei

Brüche und Missverständnisse in der Vermittlung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses in Öffentlichkeit und Gesellschaft auftreten können, denen Schule und Hochschule begegnen müssen. Die Vermittlung eines angemessenen Verständnisses der Nature of Science ist eine Notwendigkeit für eine informierte Gesellschaft, da jedes Individuum in vielfacher Weise vom jeweiligen Verständnis von Wissenschaft persönlich betroffen ist, wenn es darum geht, aktuelle Themen, wie z. B. Gesundheits- oder Umweltfragen, zu beurteilen (vgl. Southerland et al., 2012, S. 75).

### 3.2.2 Fachliche Einordnung

Die Nature of Science haben für die naturwissenschaftliche Bildung und den naturwissenschaftlichen Unterricht erwartungsgemäß eine besondere Bedeutung. Driver, Leach, Millar und Scott (1996) identifizieren in der Literatur zu Nature of Science folgende fünf bildungsrelevante Funktionen der Nature of Science.

Angemessene Ansichten zu Nature of Science ...

- sind notwendig, um ein Verständnis für Naturwissenschaft und dem alltäglichen Gebrauch technischer Objekte zu erlangen (*utilitaristisches* Argument, S. 16)
- sind notwendig, um ein Verständnis für soziale Zusammenhänge zu erlangen und sich an Entscheidungsprozessen zu beteiligen (*demokratisches* Argument, S. 18)
- sind notwendig, um die Naturwissenschaften als ein Hauptelement der zeitgenössischen Kultur wertzuschätzen (*kulturelles* Argument, S. 19)
- können ein Bewusstsein und Verständnis für die moralischen Verpflichtungen der wissenschaftlichen Community entwickeln, die auch von allgemeinem Wert sind (*moralisches* Argument, S. 19)
- unterstützen das Lernen von naturwissenschaftlichem Inhaltswissen (S. 20)

Als Schlüsselemente für das grundlegende Verstehen der Nature of Science sehen Driver et al. das Verständnis für den Zweck wissenschaftlicher Arbeit, das Verständnis für die Natur und den Stand naturwissenschaftlichen Wissens und das Verständnis von Naturwissenschaft als soziale Unternehmung (S. 23).

In der deutschsprachigen Fachdidaktik spielt das Verständnis der Nature of Science als Teil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung seit der Jahrtausendwende eine zunehmend wichtige Rolle. Duit et al. (2002) nennen neben den drei Aspekten „Naturwissenschaftliche Begriffe und Prinzipien (Konzepte)“, „Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden und Denkweisen (Prozesse)“ und „Vorstellungen und Einstellungen zur Relevanz der Naturwissenschaften in Gesellschaft und Technik“ auch „Vorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften“ als einen wesentlichen Bereich naturwissenschaftlicher Bildung (S. 170). Im Vergleich zum früheren Unterricht in den Naturwissenschaften ist hier die Rede von einem neuen naturwissenschafts-

didaktischen Paradigma, wenn parallel zum Lernen der begrifflichen und methodischen Struktur der Naturwissenschaft „*ein adäquater erkenntnis- und wissenschaftstheoretischer Rahmen der Naturwissenschaften gelernt werden muss*“ (Kircher & Dittmer, 2004). Die Auffassung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung, die über das reine Inhalts- und Methodenwissen hinausgeht, wird auch in den PISA-Studien deutlich. In den Studien von 2006 und 2009 werden u. a. folgende zwei anzubahnde Fähigkeiten benannt:

- Die charakteristischen Eigenschaften der Naturwissenschaften als eine Form menschlichen Wissens und Forschens zu verstehen
- Zu erkennen und sich dessen bewusst zu sein, wie Naturwissenschaften und Technik unsere materielle, intellektuelle und kulturelle Umwelt formen (vgl. Rönnebeck et al., 2010, S. 178).

In der PISA-Rahmenkonzeption zur naturwissenschaftlichen Grundbildung werden diese Fähigkeiten unter „Wissen über die Naturwissenschaften“ subsummiert (Rönnebeck et al., 2010, S. 178).

Bei der Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz im Grundschulalter berücksichtigen Hardy et al. (2010) ebenso das Verständnis der Nature of Science als Teilbereich der Dimension „Wissen über Naturwissenschaften“, obwohl „Wissen über Naturwissenschaften“ erst im Unterricht der Sekundarstufe gelehrt wird. Sie verweisen auf neuere Studien zum Wissenschaftsverständnis, die darauf hindeuten, „*dass selbst das Verstehensniveau von Grundschulkindern durch Interventionen eines wissenschaftstheoretisch orientierten Unterrichts signifikant angehoben werden kann und dass dieser Unterricht außerdem Effekte auf die Fähigkeit zur Produktion kontrollierter Experimente hat*“ (Hardy et al., 2010, S. 118).

Im Verhältnis zur Bedeutung der Nature of Science in der deutschsprachigen Fachdidaktik, nimmt die Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in den deutschen Bildungsstandards bisher vergleichsweise wenig Raum und Gewicht ein.

In den KMK-Bildungsstandards für den mittleren Bildungsabschluss finden sich Ziele und Kompetenzbereiche, die das Wissenschaftsverständnis betreffen. So werden u. a. als Ziele naturwissenschaftlicher Grundbildung angegeben, „*die Sprache und Historie der Naturwissenschaften zu verstehen, (...) sowie sich mit ihren spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen auseinander zu setzen. Dazu gehört das theorie- und hypothesengeleitete naturwissenschaftliche Arbeiten (...)*“ (KMK, 2005, S. 6). Die spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung beziehen sich in den KMK-Standards eher auf die forschend-entdeckenden Unterrichtspraktiken als auf die erkenntnistheoretischen Grundlagen der Naturwissenschaften, was in den Kompetenzbereichen Chemie und Physik deutlich wird, wenn im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung von experimentellen und anderen Unterrichtsmethoden die Rede ist. Die Methoden der Erkenntnisgewinnung sind ein auf das Unterrichtshandeln bezogenes Ziel der Erkenntnisgewinnung, bei dem Schülerinnen und Schüler mittels der Durchführung von Experimenten und anderen Untersuchungsmethoden zu Erkenntnissen kommen bzw. den



Weg der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften durch eigenes Tun nachvollziehen sollen. In der internationalen Diskussion um *scientific literacy* wird dieser Kompetenzaspekt ebenso als wichtig, jedoch das bloße „*doing science*“ als unzureichend für den Erwerb eines vertieften Wissenschaftsverständnisses angesehen (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Lederman, Lederman & Antik, 2013, S. 144). Schecker und Pachmann (2006, S. 58) sehen demnach bei den nationalen Standards im Inhaltsbereich die Komponente Wissenschaftsverständnis als nicht genügend abgedeckt und halten es für erforderlich, ein konzeptuelles Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bzw. die Nature of Science stärker zu berücksichtigen. Um die Diskrepanz zwischen den aktuellen nationalen und internationalen Standards im Hinblick auf Wissenschaftsverständnis bzw. Nature of Science zu kompensieren, ist es notwendig, die Ausbildung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses als Teil einer umfassenden naturwissenschaftlichen Bildung mitzudenken (vgl. Wellnitz et al., 2012, S. 267).

Dagegen sehen englischsprachige internationale Standards die Vermittlung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses in Form der Behandlung und Reflexion historischer, erkenntnis- und wissenschaftstheoretischer Aspekte im naturwissenschaftlichen Unterricht vor. Exemplarisch seien hier die Standards für den naturwissenschaftlichen Unterricht des *National Research Council* genannt (NRC, 1996). So heißt es in den Erläuterungen zu den Standards „History and Nature of Science“, die Schülerinnen und Schüler sollen beim Lernen der Naturwissenschaften ein Verständnis dafür entwickeln, dass die Naturwissenschaft ihre wissenschaftseigene Geschichte reflektiert und eine fortlaufende, sich verändernde Unternehmung ist. Verschiedene Formen wissenschaftlichen Forschens, soziale Aspekte der Wissenschaften und die Rolle, die Naturwissenschaft bei der Entwicklung verschiedener Kulturen spielt, sollen im Unterricht behandelt werden. In den Standards, die sich auf alle Schultypen vom Elementarbereich bis zur höheren Sekundarstufe (K–12) beziehen, werden Aspekte der Nature of Science als Inhaltsaspekte spiralcurricular behandelt. Folgende Standards werden in den verschiedenen Schulstufen genannt (NRC, 1996, S. 107):

- Elementar- und Primarbereich: Naturwissenschaft als menschliche Unternehmung (*Science as a human endeavor*)
- Sekundarstufe I (Klassenstufe 5–8): Naturwissenschaft als menschliche Unternehmung, Natur der Naturwissenschaften (Nature of Science), Geschichte der Naturwissenschaften
- Sekundarstufe II (Klassenstufe 9–12): Naturwissenschaft als menschliche Unternehmung, Natur des naturwissenschaftlichen Wissens (Nature of scientific knowledge), geschichtliche Perspektive

Dem beträchtlichen Unterschied zwischen der Bedeutung von Wissenschaftsverständnis in deutschen Bildungsstandards gegenüber den Standards der NRC steht die große Übereinstimmung innerhalb der Kernaspekte von Nature of Science beim Vergleich englischsprachiger Standard-Dokumente gegenüber (vgl. S. 42).

### 3.3 Offene Probleme

Obwohl auf einzelne Konzeptualisierungen der Nature of Science häufig Bezug genommen wird und diese entsprechend populär sind, wird im Forschungsfeld nach wie vor die konzeptionelle Ausgestaltung der Nature of Science intensiv diskutiert. Jüngere Veröffentlichungen weisen auf offene Fragen- und Problemstellungen zur Dimensionalität der NOS-Ansichten, dem Zusammenhang einzelner NOS-Aspekte zum Lernen der Naturwissenschaften sowie der Domänen-, Disziplin- und Kontextspezifität von Nature of Science hin (vgl. Deng et al., 2011), was auch Implikationen für die Vermittlung angemessener Ansichten im naturwissenschaftlichen Unterricht mit sich bringt (vgl. Allchin, Andersen & Nielsen, 2014).

Häufig sind die offenen Probleme in der Forschung auf die normativen Setzungen der NOS-Aspekte, die an den historischen, soziologischen, erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Grundlagen der Naturwissenschaften ausgerichtet sind, zurückzuführen. Über Fragen bezüglich der Angemessenheit, der Vermittlung und dem (Leistungs-)vergleich von NOS-Ansichten von Schülerinnen und Schülern besteht nach wie vor Dissens hinsichtlich wissenschaftsgeschichtlicher- und philosophischer Detailfragen (Abd-El-Khalick, 2012, S. 354). Eine Klärung auf Basis einer deskriptiven Herangehensweise bei der Untersuchung der NOS-Ansichten mit Hilfe faktoranalytischer Studien erscheint aufgrund der nötigen Rückbindung zu den Bezugswissenschaften nicht als möglich oder sinnvoll (vgl. Neumann & Kremer, 2013, S. 223).

In aktuellen Veröffentlichungen wird häufig kritisiert, dass die gängigen disziplinübergreifenden NOS-Aspekte zu allgemein seien und die disziplin- und kontextspezifischen Besonderheiten der NOS-Ansichten nicht ausreichend berücksichtigt würden. Der Bezug auf die übergeordneten NOS-Aspekte würde ein universalistisches Bild der Naturwissenschaften befördern und bildet die Komplexität der Wissensgenerierung nicht ausreichend für die einzelnen Disziplinen und alle Kontexte ab (vgl. Abd-El-Khalick, 2012). In diesem Sinne weist Clough (2007) darauf hin, dass naturwissenschaftliches Wissen nicht über alle Kontexte hinweg gleichermaßen unsicher sei. Schülerinnen und Schüler, die über alle Kontexte hinweg davon ausgehen, dass naturwissenschaftliches Wissen prinzipiell unsicher ist, ohne dabei die Beständigkeit manchen gut belegten naturwissenschaftlichen Wissens anzuerkennen, können die Nature of Science nicht richtig verstanden haben. Entsprechend wird ähnlich wie in der Forschung zur persönlichen Epistemologie diskutiert, ob bestimmte NOS-Ansichten über alle Kontexte hinweg als sophistiziert bzw. angemessen bezeichnet werden können (vgl. Deng et al., 2011, S. 963–964). Abd-El-Khalick (2012) hält die offenen konzeptionellen Fragen letztendlich für nicht auflösbar. Zum einen erscheint es ihm nicht als hilfreich, alle disziplinspezifischen „Naturen“ der einzelnen naturwissenschaftlichen Subdisziplinen in der Schule separat abzubilden. Zum anderen hält er es für sinnvoll, an den übergeordneten, etablierten NOS-Aspekten festzuhalten und disziplinübergreifende und disziplinspezifische Ansätze als komplementär und synergetisch und in diesem Sinne als fruchtbar für den Diskurs im Forschungsfeld zu begreifen.

Die grundsätzlichen konzeptionellen Problemstellungen wirken sich auf die Frage nach der richtigen Vermittlung in Schule und Lehrerbildung aus. Einerseits bestehen offene Fragen

dahingehend, auf welcher Ebene und mit welcher Tiefe in unterschiedlichen Klassenstufen verschiedene NOS-Aspekte behandelt werden sollen und welche Auffassungen einzelner NOS-Aspekte in welcher Klassenstufe als angemessen gelten (vgl. Abd-El-Khalick, 2012). Als vielschichtiger zeigt sich jedoch das Problem des Praxistransfers von Forschungsergebnissen zu Nature of Science in den Schulunterricht. Häufig wird dabei Kritik am Umgang mit den gängigen NOS-Aspekten in der Schule laut. Diese NOS-Aspekte würden viel zu oft wie eine zu lernende Ideen-Liste im Unterricht eingesetzt (Clough, 2007) und der Erfolg der Vermittlung würde daran gemessen, ob die Lernenden diejenigen Ansichten angenommen haben, die Wissenschaftler als angemessen oder förderlich ansehen (vgl. Deng et al., 2011, S. 964). In diesem Punkt stellt sich der Umgang mit den NOS-Aspekten nach Lederman et al. (2002), den sogenannten *Lederman Seven*, in der Schule aus Sicht mancher Forscher als besonders problematisch dar. Matthews (2012) bekundet beispielsweise ein zwiespältiges Verhältnis gegenüber den „Lederman Seven“. Er stellt fest, die „Liste“ werde häufig als Checkliste genutzt. Man finde sie auf Plakaten in Klassenzimmern, als eine Art von NOS-Empfehlungen und als konzeptionelle Grundlage vieler Studien zu Nature of Science. Er erkennt in der „Liste“ einerseits etwas Positives, weil sie Nature of Science in die Klassenzimmer trägt, der Forschung Instrumente zur Messung von NOS-Ansichten liefert und Lehrkräften Orientierung in NOS-Sachverhalten gibt. Die negative Seite sieht Matthews andererseits in der Mantra-artigen Form, dass der Zusammenstellung mittlerweile anhängt. Entgegen der Absicht ihrer Autoren habe die Liste etwas von einem Katechismus, etwas, das gelernt werden müsse, statt sich im Umgang mit naturwissenschaftlichen Inhalten und natürlichen Phänomenen und deren Erkundung mit NOS-Aspekten zu beschäftigen (S. 11).

Allchin et al. (2014) geben zu bedenken, Fachdidaktiker und Bildungswissenschaftler würden dazu neigen, übereilig Schlussfolgerungen zur „richtigen“ Behandlung der Nature of Science in der Schule zu liefern. Niemand sollte einfache und einheitliche Lösungen bei der Vermittlung der multiplen NOS-Eigenschaften anbieten. Vielmehr sei es wichtig, mehr Forschungsarbeit auf die Besonderheiten einzelner Ansätze und deren gegenseitige Ergänzungen zu verwenden.

### 3.4 Veränderbarkeit

Grundsätzlich wird von der Veränderbarkeit der Ansichten zu Nature of Science ausgegangen. Um Veränderungen der NOS-Ansichten von Lernenden zu erklären und herbeizuführen, findet vor allem eine Orientierung am Conceptual Change-Ansatz statt. Es wird bei der Auseinandersetzung mit Nature of Science im Conceptual Change-Ansatz davon ausgegangen, dass „inkorrekte“ Ansichten bzw. Fehlkonzepte durch „richtige“ ersetzt werden (vgl. Deng et al., 2011; Lederman, 2007).

Bei der Veränderung von (NOS-) Ansichten in einem Conceptual Change Ansatz im naturwissenschaftlichen Unterricht spielt das Vorverständnis, das Schülerinnen und Schüler in den Unterricht mitbringen, eine wichtige Rolle. Unter Vorverständnis verstehen Niedderer und Schecker (2004) eine „Einheit von kognitiven, affektiven und epistemologischen Komponenten“. Als besonders bedeutendes Element des Vorverständnisses für den Physikunterricht bezeichnen sie die Denkraumen, „die den Unterschied zwischen Physik und Alltagsdenken bezeichnen“ (Niedderer & Schecker, 2004). Für den Konzeptwechsel empfehlen Niedderer und Schecker eine Vorgehensweise für den Unterricht, bei der die Schüler ein eigenständiges Ergebnis auf Basis ihres Vorverständnisses erarbeiten, diesem Vorverständnis die physikalische Sichtweise gegenübergestellt wird, um im Anschluss beide Sichtweisen zu vergleichen.

Bei der Veränderung von NOS-Ansichten im Rahmen des Conceptual Change-Ansatzes haben verschiedene Faktoren Einfluss auf die Veränderbarkeit und das Ausmaß der Veränderung. In einer Studie mit Lehramtsstudierenden konnten Abd-El-Khalick und Akerson (2004) zeigen, dass Studierende, die Informationen intensiver bearbeiten, stärkere Veränderungsprozesse bezüglich ihrer NOS-Ansichten vollziehen. Dies wird als Hinweis dafür gewertet, dass die Ergebnisse eines Unterrichts über Nature of Science eher kognitiver als affektiver Natur sind (S. 806). Des Weiteren sind es bei Studierenden motivationale Aspekte, die Einfluss auf Veränderungen der NOS-Ansichten haben. Diejenigen, die die Wichtigkeit und Nützlichkeit der Nature of Science für das Lernen und Lehren erkannten, veränderten ihre NOS-Ansichten eher in die gewünschte Richtung. Außerdem zeigt sich eine Abhängigkeit der Veränderungen von den religiösen Ansichten der Lernenden. Lernende, die Naturwissenschaft und Religion als zwei sich widersprechende Herangehensweisen statt zwei unterschiedliche Arten von Wissen verstanden, zeigten geringere Veränderungen in ihren NOS-Ansichten.

### 3.5 Nature of Science in Schule und Studium

Oben wurden die NOS-Ansichten von Lehrenden und Lernenden beleuchtet, um beispielsweise die verschiedenen Aspekte der Nature of Science aufzuzeigen oder die fachliche und überfachliche Bedeutung der Nature of Science herauszuarbeiten. Im Folgenden werden Forschungsergebnisse zu NOS-Ansichten von Lernenden und Lehrenden gegenübergestellt, um danach auf Maßnahmen zur Veränderung und Förderung der NOS-Ansichten in Schule sowie Lehreraus- und Fortbildung einzugehen.

### 3.5.1 NOS-Ansichten von Lernenden

Die NOS-Ansichten von Schülerinnen und Schülern wurden von Anbeginn der Forschung im Rahmen verschiedener Konzepte und mit verschiedenen Instrumenten erhoben. Dabei erwiesen sich die Ansichten der Schülerinnen und Schüler sowie der Studierenden tendenziell als eher unangemessen (Lederman, 2007, S. 838). NOS-Ansichten beinhalten im Vergleich zur persönlichen Epistemologie zum Teil sehr konkrete Vorstellungen und Bilder. Bei der Untersuchung von Ansichten der Nature of Science geht es also auch immer darum, sozial konstruierte Bilder über die Naturwissenschaften zu erkunden (vgl. Bardy-Durchhalter & Radits, 2010). Diese Bilder und Vorstellungen beziehen sich auf verschiedene Aspekte, wie z. B. der Person des Wissenschaftlers, der Natur des Wissens, dem Experiment oder den Umständen der Wissensproduktion (vgl. Bardy-Durchhalter & Radits, 2010; Höttecke, 2004a). Im Folgenden werden häufig beobachtete NOS-Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern kurz umrissen.

Die Bandbreite an unterschiedlichen NOS-Vorstellungen, die in verschiedenen Studien mit Schülerinnen und Schülern beobachtet wurde, ist recht groß. Neben den häufig beobachteten unangemessenen Vorstellungen können auch angemessene NOS-Ansichten bei Schülerinnen und Schülern nachgewiesen werden. Einerseits neigen Schülerinnen und Schüler beispielsweise zu der unangemessenen Vorstellung, Zahlen seien wissenschaftliches Wissen, das durch Schulbücher übertragen wird. Sie sind davon überzeugt, dass eine objektive Wahrheit existiert, die durch Wissenschaftler entdeckt werden kann. Zudem sind Schülerinnen und Schüler eher nicht in der Lage, zwischen unterschiedlichen Formen naturwissenschaftlichen Wissens, wie z. B. Theorien, Gesetzen, Hypothesen, Fakten und Beweisen zu differenzieren. Einige Studien weisen nach, dass Schülerinnen und Schüler zu manchen NOS-Aspekten, wie z. B. zur Vorläufigkeit, Theoriegebundenheit, soziokulturellen Eingebundenheit naturwissenschaftlichen Wissens, über angemessene Ansichten verfügen können (Deng et al., 2011, S. 972). Die heterogenen und zum Teil divergierenden Forschungsergebnisse führen Deng et al. (2011) auf methodologische und konzeptionelle Gründe zurück. Bezüglich der Methoden stellen sie fest, dass geschlossene Instrumente häufig nicht konsequent genug validiert werden und offene Instrumente den kontextabhängigen Charakter der Ansichten zu Nature of Science berücksichtigen. Dass Schülerinnen und Schüler zu einigen NOS-Aspekten über angemessene und zu anderen über unangemessene Ansichten verfügen, ist mit den Konzeptualisierungen eines Großteils der durchgeführten Studien vereinbar, da in ihnen von einem System aus mehr oder weniger voneinander unabhängigen Ansichten ausgegangen wird (S. 974-975).

Die Person des Wissenschaftlers wird von jüngeren Kindern häufig als stereotyp cartoonartig gesehen (weißer Kittel, Bart, unrasiert), die oft zufällige Entdeckungen macht. Diese Bilder werden vielfach durch Medien induziert. Auch der Naturwissenschaftsunterricht beeinflusst die Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler von Wissenschaftlern haben. In einer Studie zeigten Schülerinnen und Schüler der 10. Klassenstufe vier voneinander abgrenzbare Vorstellungen (Solomon, 1993, zit. nach Höttecke, 2004a, S. 265): der sonderbare Wissenschaftler (führt ge-

fährliche Experimente durch), die hilfreiche Autorität (erklärt Phänomene und Zusammenhänge), der Techniker (produziert technische Artefakte und prüft sie) und der intellektuelle Wissenschaftler (hat neue Ideen).

Zu den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zur Natur naturwissenschaftlichen Wissens liegen aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive verschiedene Erkenntnisse vor. So zeigen Studien, dass Kinder und Jugendliche die im Unterricht behandelten Fakten, Formeln und Gesetze als etwas für die Naturwissenschaften Spezifisches ansehen und diesen Inhalten den Status des Gesicherten und Unveränderlichen zuschreiben. Etwas, das an der Tafel steht, wird häufig als feststehend aufgefasst (Höttecke, 2004a, S. 267–269).

Ansichten zur Natur des naturwissenschaftlichen Wissens sind auch mit Vorstellungen zur Anwendbarkeit des naturwissenschaftlichen Wissens verbunden. Beispielsweise sind Bilder anzutreffen, dass Forschung hilft, praktische Probleme zu lösen oder Neues zu entdecken (Bardy-Durchhalter & Radits, 2010, S. 49–51).

Die mediale Vermittlung von Vorstellungen und Bildern zur Naturwissenschaft wird in der Naturwissenschaftsdidaktik ähnlich diskutiert wie in der Forschung zur persönlichen Epistemologie. Dabei werden die durch Schule und Medien erzeugten Mischformen an Vorstellungen als nicht angemessen eingeschätzt. Mehrere Studien weisen auf die Tendenz zu einem naiven bzw. ontologischen Realismus in medialen Darstellungen hin. Durch Medien vermittelt verfügen Schülerinnen und Schüler über die Vorstellung eines Abbildverhältnisses zwischen Wissen und Wirklichkeit. Durch Forschung wird demnach Wirklichkeit entdeckt. Es besteht die Überzeugung, man wisse nur deshalb etwas nicht, weil man noch nicht danach geforscht habe. Als eine mögliche Mischform an Vorstellungen zur Natur naturwissenschaftlichen Wissens wird beispielsweise die Einnahme einer ontologisch-realistischen Position in Kombination mit der Vorstellung von Veränderlichkeit von Wissen beschrieben (Tobin et al., 1997, zit. nach Höttecke, 2004a).

Das Experiment nimmt als Arbeitsformen für Schülerinnen und Schüler eine zentrale Stellung für das Verständnis der Naturwissenschaften ein, obwohl sie beispielsweise den Physikunterricht größtenteils als „kreidelastigen Demonstrationsunterricht“ erleben (Baumert & Köller, 2000, zit. nach Höttecke, 2004a, S. 269). Die Funktion des Experiments für den Erkenntnisprozess wird im Unterricht meist nicht deutlich, entsprechend sind die Schülervorstellungen zur experimentellen Praxis in der Forschung nicht angemessen. Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II entwickeln zum Teil ein Verständnis vom Experiment im Physikunterricht, das wenig mit der Erkenntnisfunktion in der Forschungspraxis zu tun hat. Schülerinnen und Schüler nehmen wahr, die durch das Experiment demonstrierten Ergebnisse stünden meist schon vor der Durchführung fest. Dies steht im Widerspruch zur Forschungspraxis von praktizierenden Wissenschaftlern. Bei jüngeren Lernenden ist dagegen häufig die Vorstellung des Experimentierens als unsystematisches Ausprobieren anzutreffen (vgl. Höttecke, 2004a, S. 269–272).

Zugleich verfügen Schülerinnen und Schüler häufig nicht über angemessene Vorstellungen zur Rolle der Aushandlungsprozesse und Konsensfindung in der Scientific Community. Dabei erkennen sie zwar die Aushandlungsprozesse zwischen Wissenschaftlern teilweise, das Verständnis für den Prozess und die Funktion dieser Konsensfindung existiert jedoch häufig nicht. Schüler gehen oft davon aus, eindeutiges Datenmaterial und harte Fakten seien im Prozess der Konsensfindung ausschlaggebend, wohingegen sie soziale Faktoren für die Konsensfindung als weniger wichtig erachten (S. 273). Ferner haben viele Schülerinnen und Schüler bezüglich der Methoden in den Naturwissenschaften die Vorstellung, sie verlaufen unabhängig von Disziplin und Fragestellung immer in derselben routineartigen Abfolge von Schritten ab (S. 275).

### 3.5.2 NOS-Ansichten von Lehrenden

Nachdem in den frühen Jahren der Forschung zu Nature of Science die Ansichten der Lernenden im Mittelpunkt standen, rückten zunehmend die NOS-Ansichten von Lehrerinnen und Lehrern in den Fokus des Forschungsinteresses. Die Untersuchung der Ansichten von Lehrkräften wurde auch deshalb relevant, da zunehmend die Frage aufkam, wie im Unterricht adäquate NOS-Ansichten vermittelt werden können. Lederman (2007, S. 838–842) gibt anhand exemplarischer Studienergebnisse einen Überblick zu NOS-Ansichten von Lehrerinnen und Lehrern. Diese sind im Folgenden überblicksartig zusammengefasst:

- In einer Studie (Behnke, 1961, zit. nach Lederman, 2007, S. 839) mit 1000 Biologie- und Physiklehrkräften sowie 300 praktizierenden Wissenschaftlern gaben mehr als die Hälfte der befragten Lehrkräfte an, naturwissenschaftliche Erkenntnisse seien nicht vorläufig. Überraschenderweise gaben das auch etwa 20 % der Wissenschaftler an.
- In einer anderen Studie (Miller, 1963, zit. nach Lederman, 2007, S. 839), die die NOS-Ansichten von Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II und ihren Lehrkräften verglich, erreichten die Schülerinnen und Schüler teilweise bessere Ergebnisse als ihre Lehrkräfte. Daraus wurde geschlossen, manche Lehrkräfte verfügen nicht über ausreichend angemessene Ansichten, um effektiv unterrichten zu können.
- Eine Studie von Carey und Strauss (1970, zit. nach Lederman, 2007, S. 840) ergab, dass erfahrene Lehrkräfte der Naturwissenschaften im Allgemeinen über keine angemessenen Ansichten verfügen. Merkmale, wie z. B. Notendurchschnitt, Qualifizierung in Mathematik und Unterrichtserfahrung, zeigen keinen Zusammenhang mit den erhobenen NOS-Ansichten der Lehrkräfte.
- Ergebnisse einer Studie mit angehenden Lehrkräften (Aguirre, Haggerty & Linder, 1990, Lederman, 2007, S. 841) deuteten darauf hin, dass ein Zusammenhang zwischen den Ansichten zu Nature of Science und den Vorstellungen zum Lernen und Unterrichten besteht.

Die wesentlichen Ziele der hier skizzierten Studien waren, die Ansichten der Lehrkräfte offen zu legen. Die aktuelle Forschung beschränkt sich kaum noch auf die ausschließliche Erhebung

von Ansichten der Lehrkräfte zu Nature of Science. Vielmehr werden die Ansichten von Lehrkräften im Zusammenhang mit der Verbesserung ihrer Ansichten in Aus- und Fortbildung oder bezüglich des Zusammenhangs mit anderen Aspekten erhoben. Lederman (2007, S. 852) fasst die von ihm in seiner Übersicht wiedergegebenen Forschungsergebnisse zu NOS-Ansichten von Lehrkräften, die auch durch neuere Forschung gestützt werden, wie folgt zusammen: Zum einen zeigen Studienergebnisse, unabhängig von der Messmethode, dass Lehrkräfte der Naturwissenschaften nicht über angemessene Konzeptionen der Nature of Science verfügen. Zum anderen besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen ihrem akademischen Hintergrund und ihren NOS-Ansichten. Bezüglich der Maßnahmen zur Veränderung von NOS-Konzeptionen bei Lehrkräften, die im folgenden Teilkapitel ausführlicher erörtert werden, fasst Lederman (2007) zusammen, dass diejenigen Maßnahmen, die entweder naturwissenschaftshistorische Aspekte enthalten oder explizit auf die Natur der Naturwissenschaft fokussieren, am erfolgversprechendsten sind.

### 3.5.3 Maßnahmen zur Veränderung und Förderung der NOS-Ansichten

Bevor verschiedene Möglichkeiten zur Förderung von Ansichten der Nature of Science dargestellt werden, wird zuerst auf die Frage eingegangen, in welchem Lernkontext die Vermittlung von NOS-Ansichten am besten stattfinden sollte. Dabei wird einerseits zwischen expliziter und impliziter Vermittlung (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002) und andererseits zwischen integriertem und nichtintegriertem Kontext (Khishfe & Lederman, 2007) unterschieden.

Beim impliziten Ansatz wird davon ausgegangen, NOS-Ansichten von Lernenden würden sich durch forschungsorientierte Tätigkeiten und Projekte entwickeln, ohne dass NOS-Aspekte explizit thematisiert werden. Eine Verbesserung der Ansichten zu Nature of Science geschehe im Rahmen des impliziten Ansatzes quasi als Nebeneffekt (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 553–554). Bei der expliziten Vermittlung werden dagegen ausgehend vom Unterricht und forschenden Lernen einzelne NOS-Aspekte herausgestellt, reflektiert und diskutiert (S. 554). Studien zeigen die größere Wirksamkeit der expliziten gegenüber der impliziten Vermittlung von Nature of Science (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 572–575).

Die Unterscheidung zwischen integriertem und nichtintegriertem Lernkontext bezieht sich darauf, ob eine Auseinandersetzung mit NOS-Aspekten eng mit spezifischen Inhalten naturwissenschaftlichen Unterrichts oder losgelöst von solchen Inhalten stattfindet. Es handelt sich sowohl beim integrierten als auch nichtintegrierten Kontext jeweils um die explizite Vermittlung von NOS-Aspekten (vgl. Khishfe & Lederman, 2007, S. 940). Studienergebnisse zeigen sowohl beim integrierten als auch nichtintegrierten Lernkontext substantielle positive Veränderungen in den NOS-Ansichten der Lernenden, wobei der integrierte Kontext zu leicht besseren Ergebnissen führt. Aus diesem Grund bewerten Khishfe und Lederman die Vermittlung von NOS-Aspekten in einem integrierten Ansatz als ökonomischer und effizienter, da die Integration der Vermittlung von NOS-Inhalten einhergeht mit der Vermittlung naturwissenschaftlicher Inhalte (S. 957–958).



Neben der grundsätzlichen Frage, in welchem instruktionellen Kontext Nature of Science Lernenden vermittelt wird, finden sich in der Literatur zu Nature of Science verschiedene Vorschläge, wie einzelne NOS-Aspekte sinnvoll in Schule und Hochschule vermittelt werden können. Besonders wissenschaftsgeschichtliche Aspekte spielen dabei eine wesentliche Rolle (vgl. Abd-El-Khalick, 2013; Clough, 2006; Höttecke, 2004b; McComas, 2008). Für Schulen in Deutschland ist u.a. die Vermittlung eines Verständnisses der Historie der Naturwissenschaften zur Anbahnung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung in den KMK-Standards für den mittleren Bildungsabschluss (KMK, 2005) vorgesehen. Ergänzend sollte bei der Behandlung wissenschaftsgeschichtlicher Aspekte im Unterricht, wie in Kapitel 3.2.2 dargelegt, ein konzeptuelles NOS-Verständnis bei der Vermittlung „mitgedacht“ bzw. berücksichtigt werden, da die Nature of Science in den Kompetenzbeschreibungen der KMK-Standards nicht explizit benannt werden.

Höttecke (2004b) erklärt die Bedeutsamkeit wissenschaftsgeschichtlicher Aspekte damit, dass eine ausschließliche Darstellung von Fachsystematik in der Vermittlung naturwissenschaftlicher Inhalte die forschenden Akteurinnen und Akteure auf ihre Funktion für die jeweilige Fachdisziplin reduzieren. Dadurch werde das Menschliche in den Naturwissenschaften zurückgedrängt. Geschichtlichen Darstellungen komme im naturwissenschaftlichen Unterricht häufig nicht mehr als die Rolle einer Randnotiz zu. Die verstärkte Integration wissenschaftsgeschichtlicher Anteile in den Unterricht kann dagegen darstellen, wie in den Naturwissenschaften Ergebnisse und Erkenntnisse zustande kommen (S. 45). *„Es kann gezeigt werden, dass die Produkte der Naturwissenschaften von Menschen mit je eigenen Vorstellungen von ihrem Arbeits- und Gegenstandsbereich, ihrem kulturellen Hintergrund, ihren sozialen Beziehungen, Wünschen und Bedürfnissen geschaffen worden sind“* (Höttecke, 2004b, S. 46). Dabei beeinflussen auch biographische Aspekte der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie z. B. deren private Lebenssituation, die Forschung (S. 47). Anhand von Wissenschaftsgeschichte könne auch die Prozesshaftigkeit der Naturwissenschaften aufgezeigt (S. 47) und die gegenseitige Verwiesenheit von Naturwissenschaft und Kultur verdeutlicht werden (S. 48). Dies kann beispielsweise anhand einzelner vertiefender, exemplarischer Fallstudien, herausragender historischer Komponenten, irreführender Schulbuchinhalte, historischer Kurzgeschichten, kurzer historischer Vignetten verstorbener oder aktueller Vignetten lebender Wissenschaftler bei der Vermittlung der Naturwissenschaften bzw. einer ihrer Disziplinen erreicht werden (vgl. Clough, 2006, S. 478; Höttecke, 2004b, S. 54). Methodisch bieten sich für die Auseinandersetzung mit Wissenschaftsgeschichte schülerorientierte und offene Methoden wie z. B. forschendes Lernen mit historischen Nachbauten, Rollenspielen, Standbilder oder Kreatives Schreiben an. Die Umsetzung und der Ausbau einer solchen schülerorientierten Unterrichtspraxis würde zum einen die Kultur des Physikunterrichts insgesamt weiterentwickeln und zum anderen die dominante Stellung lehrerzentrierter Aktivitäten im Physikunterricht erschüttern (vgl. Höttecke, Henke & Riess, 2012). In der aktuellen fachdidaktischen Literatur wird die Notwendigkeit der vielfältigen Öffnung naturwissenschaftlichen Unterrichts (und im Speziellen des Physikunterrichts) zu

Gunsten schülerorientierter Methoden, nicht nur für die Behandlung der Nature of Science, benannt (z. B. Kircher, 2015a).

McComas (2008) hat auf Basis verschiedener Veröffentlichungen zu Nature of Science historische Beispiele zu verschiedenen NOS-Aspekten systematisch zusammengestellt. In Tabelle 3.2 finden sich exemplarisch zu jeweils einem NOS-Aspekt Beispiele aus der Wissenschaftsgeschichte, die Ausgangspunkt für die explizite Auseinandersetzung mit NOS-Aspekten sein können.

**Tabelle 3.2:** NOS-Aspekte und dazu passende Beispiele aus der Wissenschaftsgeschichte

NOS-Aspekte	Historische Beispiele
Empirische Basis	Kopernikus nutzte die Daten/Beweise, die von Ptolemäus geliefert wurden, in seinem Modell, interpretierte die Daten aber ganz anders.
Methode	Röntgens Entdeckung der Röntgenstrahlen war ein Ergebnis sowohl seiner systematischen Vorgehensweise als auch des Zufalls.
Vorläufigkeit	Heinrich Hertz dachte, ein Kathodenstrahl sei ein Strom geladener Teilchen. Thomson wies anhand verbesserter Technologie dieses Ergebnis zurück.
Gesetze und Theorien	Anhand der Urknall-Theorie konnten genaue Vorhersagen späterer Beobachtungen gemacht werden.
Kreativität	Der belgische Chemiker Kekule entdeckte die hexagonale Struktur von Benzolverbindungen. Er kam zu dieser Struktur, nachdem er von einer Schlange träumte, die sich in den Schwanz biss. Danach testete er das Modell anhand der beobachteten Daten.
Subjektivität/ Theoriegebundenheit	Ptolemäus war davon überzeugt, die Erde befände sich im Zentrum des Universums. Bei Beobachtungen fand er Unstimmigkeiten. Er passte seine Erklärungen so an, dass die Beobachtungen zu seinem Weltbild passten.
Soziokulturelle Einbettung	Der Wettlauf ins All zwischen USA und UdSSR und die daraus resultierenden wissenschaftlichen und technischen Neuerungen waren viel eher ein Ergebnis politischer als wissenschaftlicher Aktivitäten.
Naturwissenschaft hat ihre Grenzen	In der newtonschen Mechanik ist das Gesetz der Schwerkraft ein fundamentales Prinzip, das andere Dinge, jedoch nicht sich selbst erklären kann.

**Anmerkung:** Die Beispiele stellen eine exemplarische Auswahl dar und sind mit den Zuordnungen zu den NOS-Aspekten folgender Quelle entnommen: „Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science“ von W. McComas, 2008, Science & Education, 17, S. 257–260

In der Diskussion um die Bedeutung für Nature of Science in Schule und Lehrerbildung findet auch eine Auseinandersetzung über Gewicht und Rolle einzelner NOS-Aspekte statt. Taber (2012) plädiert dafür, die Rolle der Kreativität für das wissenschaftliche Denken stärker in der naturwissenschaftlichen Bildung herauszustellen, da kreative Aspekte im Vergleich zu „logischen“ zu wenig betont werden. Dies solle auch mit Kreativität des Lernens von Naturwissenschaften einhergehen.

Es mache wenig Sinn, wenn Naturwissenschaft als eine „Rhetorik von Schlussfolgerungen“ vermittelt werde: *“Science should not be taught as if a 'rhetoric of conclusions', but rather as the offspring of as a marriage between the creative impulse and the logical evaluation of ideas*

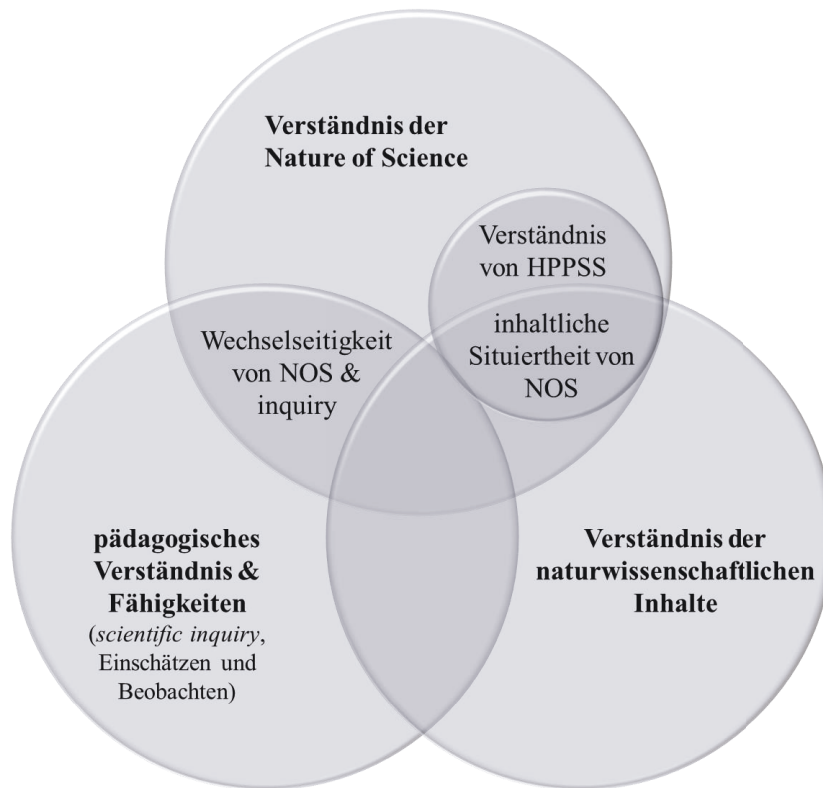
*against evidence*” (Taber, 2012, S. 71). Entsprechend müsse in naturwissenschaftlicher Bildung die Auffassung überwunden werden, es gehe in den Naturwissenschaften um Fakten. Vielmehr sollten Lehrende die kreativen Aspekte der Naturwissenschaften „zelebrieren“. Dabei ist die Rolle von Modellen zentral, die als Produkte eines kreativen Prozesses Denkwerkzeuge darstellen (S. 54), die oft vorläufig und verbesserungsfähig sind. Dies bringt Lernende in die Position, Naturwissenschaft als einen Prozess zu sehen, in dem Ideen generiert und überprüft werden (S. 71). Das erfordert unter anderem einen Unterricht, in dem die Bedeutung des *Modellierens* explizit gemacht wird. *“The problem here is that learning about models is not authentic science education unless the teaching and learning is explicitly about models”* (Taber, 2012, S. 57). Das Ziel eines expliziten Unterrichts über Modelle ist die Vermittlung der Fähigkeit metakonzeptueller Reflexion (vgl. Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004). Darunter versteht man die aktive und bewusste Auseinandersetzung mit Erfahrungs- und Modellwelt, die hoch unterschiedlich sind. Der explizite Vergleich von Erfahrungs- und Modellwelt und das kontinuierliche Wechseln zwischen diesen Welten im Unterricht kann ein solches metakonzeptuelles Bewusstsein der Lernenden erzielen (S. 134–135). Im Unterricht wird das beispielsweise konkret durch die bewusste Konstruktion von Modellen erzielt, da dadurch der artifizielle Charakter und die erkenntnistheoretische Funktion von Modellen verdeutlicht wird (vgl. Mikelskis-Seifert & Fischler, 2003, S. 81).

Der Umgang mit wissenschaftlichen Kontroversen durch verschiedene methodische Herangehensweisen wird in der Naturwissenschaftsdidaktik, ähnlich wie in der Literatur zur persönlichen Epistemologie, als eine vielversprechende Möglichkeit beschrieben, das Wissenschaftsverständnis zu fördern oder zu verändern (vgl. Good, 2012; Höttecke et al., 2012; Kasper, 2011; Southerland et al., 2012). So stellt beispielsweise die inszenierte Kontroverse einen möglichen Zugang zu fachwissenschaftlichen Inhalten sowie dem damit verbundenen epistemischen Wissen dar, indem durch narrative Methoden erkenntnistheoretische Merkmale der Wissensproduktion aufgezeigt werden (Kasper, 2011, S. 166–167). Zu diesen erkenntnistheoretischen Merkmalen gehören unter anderem thematische Verschiebungen, Infragestellungen von Voraussetzungen oder Auslegungsschwierigkeiten, wie z. B. Interpretation, Re-Interpretation, semantische Umdeutungen usw. (Dascal, 2006 zit. nach Kasper, 2011, S. 167).

Wie oben dargestellt, ist es vorteilhaft, wenn die Aspekte der Nature of Science nicht isoliert und losgelöst von naturwissenschaftlichen Inhalten behandelt werden. Die Auseinandersetzung mit NOS-Aspekten und die Förderung angemessener Ansichten in Schule, Hochschule und Lehrerfortbildung ist effizienter, wenn eine Herstellung sinnvoller Bezüge zu naturwissenschaftlichem Inhaltswissen, z. B. durch die themenbezogene Auseinandersetzung mit Fakten, Theorien und Gesetzen in ihrer wissenschaftsgeschichtlichen Entwicklung, erfolgt.

Bezüglich der Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften stellt Abd-El-Khalick (2013) fest, die kurzfristige und explizite Auseinandersetzung von (zukünftigen) Lehrkräften mit NOS-Aspekten sei wichtig aber nicht ausreichend für die erfolgreiche, längerfristige Implementierung von

NOS-Aspekten im Unterricht. Zur erfolgreichen Behandlung der Nature of Science im Unterricht bedarf es auf Seiten der Lehrkräfte der Verknüpfung der NOS-Ansichten mit Wissen anderer Domänen, wie es das empirisch hergeleitete Modell in Abbildung 3.1 zeigt.



**Abbildung 3.1:** Wissensdomänen von Lehrkräften zum Unterrichten mit und über Nature of Science (übersetzt nach Abd-El-Khalick, 2013, S. 2101)

Demnach darf das Konzept „Nature of Science“ in der Lehreraus- und Fortbildung nicht isoliert betrachtet werden, wenn es darum geht, Lehrkräfte in die Lage zu versetzen, erfolgreich Nature of Science im Unterricht zu vermitteln. In dem Modell spielen drei sich überschneidende Wissensdomänen eine entscheidende Rolle:

- a) Verständnis des naturwissenschaftlichen Inhaltswissens (vertieftes und integriertes Verständnis der Inhalte ermöglicht besseren Unterricht mit und über NOS)
- b) pädagogisches Verständnis und Fertigkeiten (Initiierung von schülerzentriertem und forschendem Lernen [scientific inquiry], Einschätzen und Beobachten von Veränderungen in den Ansichten zu Nature of Science der Schülerinnen und Schüler)
- c) eigene Ansichten zu NOS

Im letzten Punkt identifiziert Abd-El-Khalick weitere Teilaspekte von NOS, die er als heuristisch oder domänenübergreifend und inhaltsbezogen oder domänenspezifisch bezeichnet. Domänenspezifische NOS-Ansichten beziehen sich auf diejenigen Ansichten, die in einer bestimmten Inhaltsdomäne (z. B. Mendelsche Vererbungslehre) zur Anwendung kommen. Diese domänenspezifischen Ansichten bezeichnet Abd-El-Khalick als eng verflochten mit Wissen zu historischen, philosophischen, psychologischen und/oder soziologischen Aspekten der Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens (in Abbildung 3.1 als HPPSS).

Die gegenseitigen Bezüge und Überschneidungen zwischen den Wissensdomänen zeigen auf, in welche Wissenszusammenhängen das NOS-Wissen von (zukünftigen) Lehrkräften nach Abd-El-Khalick eingebettet sein sollte.

Demnach benötigen Lehrkräfte neben dem Verständnis der naturwissenschaftlichen Inhalte und den dazugehörigen angemessenen Ansichten der Nature of Science auch konkrete Hilfen, wie sie einen Unterricht mit und über Nature of Science erfolgreich gestalten können. *“However, above all, teachers will need to experience the sort of teaching with and about NOS we are expecting of them as integrated packages in the context of teacher education programs”* (Abd-El-Khalick, 2013, S. 2103).

Aus dem Modell lassen sich mit Blick auf die Lehrerbildung im Allgemeinen und auf das im Rahmen dieser Arbeit geplante Learning-by-Design-Konzept im Speziellen Konsequenzen ableiten, die später erörtert werden.

### 3.6 Zusammenfassung

Angemessene Ansichten zu Nature of Science sind Bestandteile und Ziel einer naturwissenschaftlichen Grundbildung und beziehen sich auf die erkenntnistheoretischen und soziologischen Aspekte der Wissenserzeugung und Wissensbestände. Im Rahmen naturwissenschaftsdidaktischer Forschung werden vor allem die Ansichten von Schülerinnen und Schülern und (zukünftigen) Lehrkräften untersucht. Nature of Science ist in anglo-amerikanischen Standarddokumenten schon länger und konsequenter implementiert als in deutschsprachigen Bildungsstandards. Im Vergleich zu den KMK-Standards nimmt in der deutschsprachigen Naturwissenschaftsdidaktik jedoch die Bedeutung von Nature of Science in den letzten 15 Jahren beständig zu.

Auf einer übergeordneten Ebene besteht für die Schulbildung Konsens bezüglich der relevanten Aspekte von Nature of Science. Es handelt sich bei den Aspekten um Ansichten ...

- zur empirischen Basis der Naturwissenschaften
- zu naturwissenschaftlichen Theorien und Gesetzen
- zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft
- zur Theoriegebundenheit der Naturwissenschaften
- zur sozialen und kulturellen Einbettung
- (zur naturwissenschaftlichen Methode)
- zur Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens

Die Inhalte der einzelnen Aspekte und die Frage, welche Ansichten als angemessen oder unangemessen gelten, gehen zurück auf normative Setzungen, die sich aus den Bezugswissenschaften, wie z. B. Wissenschaftsgeschichte, Philosophie/Wissenschaftstheorie oder Soziologie ergeben. Die normativen Setzungen führen in der Naturwissenschaftsdidaktik immer wieder zu kontroversen Diskussionen, wie z. B. der Frage, ob die Inhalte der etablierten NOS-Aspekte zu

unspezifisch für einzelne Disziplinen bzw. Kontexte sind oder ob Aussagen zu NOS-Aspekten, wie man sie in Unterrichtsmaterialien findet, wissenschaftstheoretisch konsistent sind.

Ein umfassender Bestand an Studienergebnissen weist auf eher unangemessene NOS-Ansichten von Schülerinnen und Schülern hin, die häufig mit stereotyp überzeichneten Bildern einhergehen. Die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern sind verbunden mit sozial konstruierten Bildern und konkreten Vorstellungen, beispielsweise zur Person des Wissenschaftlers oder der Rolle des Experiments. Es wird davon ausgegangen, dass solche Bilder und Ansichten vor allem durch Medien und Schule vermittelt werden.

Insofern kommt Lehrkräften bei der Vermittlung eines angemessenen NOS-Verständnisses eine bedeutende Rolle zu. Dabei muss berücksichtigt werden, dass viele Lehrkräfte ebenso über unangemessene Ansichten zu Nature of Science verfügen. Deshalb erscheint die Aus- und Fortbildung von Lehrkräften als wichtige Stellschraube bei der Förderung von angemessenen NOS-Ansichten der Schülerinnen und Schüler. Zum einen erscheint es sinnvoll, dass zukünftige und ausgebildete Lehrkräfte ihre eigenen NOS-Ansichten reflektieren und gegebenenfalls verändern. Zum anderen benötigen Lehrkräfte Kompetenzen, die sie befähigen, eine sinnvolle Auseinandersetzung ihrer Schülerinnen und Schüler mit Nature of Science im Unterricht zu initiieren.

Günstig für die Förderung angemessener NOS-Ansichten sind beispielsweise Maßnahmen, bei denen Lernende sich mit wissenschaftshistorischen Themen und/oder Kontroversen so auseinandersetzen, dass sie Einblicke in die Prozesse der Genese naturwissenschaftlichen Wissens erhalten.

## 4. Konzeptualisierung von Wissenschaftsverständnis in physikspezifischen Kontexten

In dieser Arbeit werden sowohl die psychologische als auch die naturwissenschaftsdidaktische Perspektive genutzt, um das Wissenschaftsverständnis von Studierenden in physikspezifischen Kontexten zu erheben, zu analysieren und im Rahmen einer Intervention zu verändern. Zunächst werden dafür im Folgenden die Konzepte der persönlichen Epistemologie und Nature of Science vergleichend gegenübergestellt, um danach Aspekte der Nature of Science ergänzend auf den Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile zu beziehen. Des Weiteren werden Spezifika des Wissenschaftsverständnisses in physikalischen Kontexten dargelegt.

### 4.1 Abgrenzung Persönlicher Epistemologie von Nature of Science – ein schwieriges Unterfangen

Die Forschung zur persönlichen Epistemologie und Nature of Science weisen in vielen Punkten Gemeinsamkeiten terminologischer und konzeptioneller Art auf. Ebenso werden aufgrund verschiedener Traditionen und Entwicklungen der Forschungsfelder Unterschiede deutlich. Neumann und Kremer (2013) analysieren die Gemeinsamkeiten und Unterschiede beider Konstrukte und der jeweiligen Forschungsfelder. Sie identifizieren dabei die nachfolgend genannten fünf Aspekte, anhand derer sie die Unterschiede zwischen Nature of Science und epistemischen Überzeugungen festmachen:

#### *Disziplinspezifität*

Disziplinspezifität verstehen Neumann und Kremer als offensichtliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Nature of Science und epistemischen Überzeugungen. Nature of Science befasse sich traditionsgemäß mit Aspekten naturwissenschaftlichen Wissens. Sie merken zwar an, es werden in jüngerer Zeit vermehrt domänenspezifische epistemische Überzeugungen in den Naturwissenschaften untersucht, begründen aber Disziplinspezifität trotzdem als wesentliches Unterscheidungsmerkmal aus der Tradition der beiden Forschungsrichtungen heraus.

#### *Inhalte*

Neumann und Kremer (2013, S. 223) erkennen im Theorierahmen von Nature of Science eine weniger klare Struktur als im Theorierahmen zu epistemischen Überzeugungen. Sie vermuten, es liege daran, dass für die Nature of Science bisher keine umfangreichen faktoranalytischen Studien existieren bzw. „*Versuche einer faktorenanalytischen Betrachtung nicht zu reliablen Skalen für nature of science-Aspekte(n) geführt haben*“ (S. 223). Einen weiteren Grund für die fehlende Ausschärfung von Nature of Science sehen sie in der wissenschaftsphilosophischen, normativen Herangehensweise, die der Diskursivität inhaltlicher Aspekte bedarf und Probleme bei der faktoranalytischen Betrachtung mit sich bringt. Epistemischen Überzeugungen schreiben sie mit Bezug auf das Modell von Hofer und Pintrich (1997) eine vergleichsweise klare inhaltliche Struktur zu. Sie beziehen sich auf Bromme und Pieschl et al. (2010, S. 8) wenn sie

feststellen, das Modell von Hofer und Pintrich, mit den faktoranalytisch gestützten Dimensionen Sicherheit, Komplexität, Quelle und Rechtfertigung des Wissens, habe sich durchgesetzt. In diesen vier Dimensionen erkennen Neumann und Kremer inhaltliche „Überlappungen“ zu Nature of Science-Aspekten, jedoch keine vollständige Identität der beiden Konstrukte bzw. die vollständige Inklusion eines der beiden Konzepte im anderen (S. 224).

*Perspektive der ersten und dritten Person bzw. persönliche vs. wissenschaftliche Perspektive*

Die Perspektive der ersten und dritten Person bzw. persönliche vs. wissenschaftliche Perspektive sehen Neumann und Kremer als weiteres grundlegendes Unterscheidungsmerkmal. Dabei sei bei epistemischen Überzeugungen meistens nicht klar getrennt, wessen Wissen im Fokus steht. Sie machen das besonders an der Dimension „Quelle des Wissens“ fest, die nach ihrer Einschätzung eher eine Beurteilung der eigenen Fähigkeiten des Lernenden beinhaltet. Neumann und Kremer argumentieren, es handle sich bei Nature of Science typischerweise um wissenschaftsphilosophische Betrachtungen naturwissenschaftlichen Wissens und nicht um die Einschätzung des eigenen Lernens oder Handelns (S. 224).

*Wissen vs. Ansicht*

Neumann und Kremer (2013, S. 225) sehen ein weiteres Unterscheidungsmerkmal in der jeweils konzipierten Art des Wissens. Nature of Science habe die Qualität eines inhaltlichen Aspekts, der lehr- und lernbar sei, da beispielsweise in der Literatur Aspekte von Nature of Science als Wissens Elemente (z. B. Lederman, 2007) aufgefasst werden und in den NRC-Standards im Bereich des Inhaltswissens angesiedelt sind. „Damit nimmt nature of science die Qualität eines inhaltlichen Konzeptes, ähnlich den fachwissenschaftlichen Konzepten (z. B. Evolution, Kraft, Materie) ein“ (Neumann & Kremer, 2013, S. 225). Epistemische Überzeugungen dagegen unterscheiden sich in dieser Hinsicht, da es sich um Überzeugungen bzw. „Ansichten“ (Neumann & Kremer, 2013, S. 225) handelt.

*Normative vs. deskriptive Herangehensweise*

NOS-Aspekte haben einen normativen Charakter, da im Sinne einer Wissenschaftspropädeutik die für die Schule relevanten NOS-Inhalte durch Forschung und Standards gesetzt werden. Neumann und Kremer argumentieren, epistemische Überzeugungen seien zwar in bestimmte Grundrichtungen eingeteilt (z. B. „naiv“ und „sophistiziert“), es gäbe ansonsten jedoch üblicherweise keine normative Rahmung (Neumann & Kremer, 2013, S. 225–226).

Die Schwierigkeit, eine klare Grenze zwischen den Konstrukten und den Forschungsfeldern zu ziehen, wird deutlich, wenn Neumann und Kremer zu Beginn des Artikels anmerken, ihre Darstellungen möchten sie „jedoch nicht als eindeutige Abgrenzung im Sinne einer Schwarz-Weiß-Malerei missverstanden“ wissen. Danach arbeiten sie in der Gegenüberstellung der Konzepte pointiert fünf Punkte heraus, um dabei einzelne Punkte beispielsweise als offensichtliche Unterscheidungsmerkmale (S. 222) oder grundlegenden Unterschied zu bezeichnen, um dann im Resümee zu relativieren, es sei aufgrund der teilweise sehr subtilen Unterschiede keine



scharfe Abgrenzung möglich (S. 229). Zudem ist der Analyse von Neumann und Kremer kritisch anzumerken, dass fünf Aspekte zur Unterscheidung herausgearbeitet werden, die mit Blick auf die aktuelle Forschung nicht durchgängig haltbar sind. Diesbezüglich finden sich im Folgenden einige Anmerkungen.

In der Darstellung des Punkts *Disziplinspezifität*, der als offensichtliches Unterscheidungsmerkmal zwischen den Konzepten genannt wird, wird nur am Rande auf die intensiv geführte Diskussion in der Forschung zur persönlichen Epistemologie der letzten Jahre eingegangen. Neumann und Kremer stellen fest: „*Geringerer Konsens ist hinsichtlich der Frage zu finden, ob epistemologische Überzeugungen allgemeiner Natur sind oder spezifisch für einzelne Domänen*“ (Neumann & Kremer, 2013, S. 220). Aufgrund empirischer Belege hat sich jedoch über viele Ansätze des Forschungsfelds hinweg der Konsens gebildet, epistemische Überzeugungen besitzen disziplinspezifische Anteile bzw. seien disziplinspezifisch (vgl. Kapitel 2.1.2). Darüber hinaus weisen Studien nicht nur auf die Abhängigkeit der persönlichen Epistemologie von Domäne oder Disziplin, sondern auch von Themen und/oder Kontexten hin (z. B. Bråten et al., 2013; Bromme et al., 2008; Franco et al., 2012; Mason et al., 2010a, 2010b; Stahl, 2011; Trautwein & Lüdtke, 2007). Des Weiteren wird beim Vergleich der Konzepte nicht darauf eingegangen, dass gerade in den letzten Jahren in der NOS-Forschung ebenso vermehrt die Frage nach der Disziplingeneralität bzw. Disziplinspezifität von NOS-Ansichten diskutiert wird (vgl. Kapitel 3.3).

Auch die Darstellung, das Modell von Hofer und Pintrich (1997) mit den Dimensionen Sicherheit, Komplexität, Quelle und Rechtfertigung des Wissens habe sich als theoretisches Konzept von persönlicher Epistemologie durchgesetzt, wird den Diskussionen der aktuellen Forschung zur persönlichen Epistemologie nicht gerecht. So findet man bei Bromme und Pieschl et al. (2010, S. 8), auf die Neumann und Kremer verweisen, den Hinweis, es handle sich bei dieser Konzeption um den *gebräuchlichsten* Theorierahmen, nicht jedoch, wie Neumann und Kremer schreiben, um denjenigen, der sich schlussendlich „durchgesetzt“ hat. Im selben Beitrag stellen Bromme und Pieschl et al. dar, die Anzahl vorgeschlagener Dimensionen variere signifikant über verschiedene theoretische Rahmungen hinweg und nicht alle theoretisch hergeleiteten Dimensionen könnten empirisch nachgewiesen werden. Auch sind die Faktorstrukturen der am häufigsten genutzten Erhebungsinstrumente über verschiedene Studien hinweg instabil (Bromme & Pieschl et al., 2010, S. 8). Der Theorierahmen zu epistemischen Überzeugungen ist demnach weniger klar, als von Neumann und Kremer dargestellt. Die Tragweite des Konsenses, der über die Dimensionen persönlicher Epistemologie mit Verweis auf die Konzeption von Hofer und Pintrich (1997) besteht, ist deshalb durchaus vergleichbar mit der Tragweite des Konsens, der in der Naturwissenschaftsdidaktik mit Verweis auf die Aspekte der Nature of Science in der Konzeption von beispielsweise Lederman (2007) besteht.

Ähnliches gilt für die Darstellung der *Perspektive der ersten und dritten Person*. Die Dimension „Quelle des Wissens“ wird als grundlegend für die Unterscheidung von epistemischen Überzeugungen und Nature of Science genannt, weil für Neumann und Kremer damit auch immer

eine Einschätzung der eigenen Fähigkeiten impliziert wird. Einerseits trifft diese verallgemeinernde Einschätzung nicht auf alle Konzeptualisierungen epistemischer Überzeugungen zu (vgl. dazu z. B. Hofer & Pintrich, 1997; Muis et al., 2006). Überdies sollte die Dimension „Quelle des Wissens“ auch im Zusammenhang mit „Rechtfertigung des Wissens“ gesehen werden, die bei Hofer und Pintrich Teildisziplinen von „Nature of Knowing“ sind. Es geht bei dieser Dimension also weniger darum, ob und wie die/der Lernende bei „Quelle des Wissens“ bewusst seine eigenen Fähigkeiten einschätzt. Vielmehr geht es darum, dass sie/er abwägt, was sie/er weiß, wie sie/er zu dem Wissen kommt und welche Relevanz die Quelle des Wissens mit Blick auf die Rechtfertigung des Wissens hat. In der Forschung zu persönlicher Epistemologie wurde dieser Punkt intensiv diskutiert und lediglich ein Fünftel der von Briell et al. (2011) analysierten Studien beinhalten in ihrer Konzeption Überzeugungen zum (eigenen) Lernen. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen epistemischen Überzeugungen und Überzeugungen zum Lernen und somit auch zur Einschätzung der eigenen Fähigkeiten, diese sollten aber getrennt voneinander gesehen werden (vgl. Hofer & Pintrich, 1997, S. 109). In diesem Sinne stellen auch Buehl und Alexander fest:

“For example, to determine students’ beliefs about knowledge, Baxter Magolda probed students’ beliefs about the role of the learner, instructors, and peers in learning. All of these beliefs were then included in her Epistemological Reflection Model. Although the exploration of such nonepistemological beliefs may be necessary to unearth individuals’ epistemologies, greater care is needed to disentangle those notions from more central beliefs about knowledge” (Buehl & Alexander, 2001, S. 415).

Ferner rückt im Ansatz der Nature of Scientific Inquiry, der eng verbunden mit Nature of Science zu sehen ist (vgl. Lederman, 2007, Lederman et al., 2014) ebenso die Fähigkeiten der Lernenden in den Fokus, da sie unter anderem durch eigenes forschend-entdeckendes Lernen erfahren, wie sie selbst Wissen erlangen können. In den NRC-Standards findet sich in diesem Sinne: *“Engaging students in inquiry helps students develop (...) an appreciation for ‘how we know’ what we know in science, understanding of the nature of science [and] skills necessary to become independent inquirers.”* (NRC, 1996, S. 105)

Der Punkt *normative vs. deskriptive Herangehensweise* ist als Unterscheidungsmerkmal nicht durchgängig sinnvoll. Zwar weisen Neumann und Kremer daraufhin, epistemische Überzeugungen seien in bestimmte normative Grundrichtungen eingeteilt, eine umfassende Rahmung gebe es jedoch nicht. Dem war jedoch nicht immer so. Gerade in Entwicklungs- bzw. Stufenmodellen, wie z. B. von Perry, Baxter Magolda oder Kuhn waren normative Rahmungen üblich, wenn zwischen Positionen wie z. B. Dualism, Multiplicity, Relativism und Commitment within relativism (Perry) oder Absolutists, Multiplists oder Evaluatists (Kuhn) unterschieden wurde (Hofer & Pintrich, 1997, S. 92). Dass diese normativen Setzungen an Bedeutung verloren haben, ist sowohl auf den Diskurs in der Forschung und auf empirische Ergebnissen der letzten zehn Jahren zurückzuführen. So kritisieren beispielsweise Elby und Hammer (2001) weite Teile

der Forschung zu epistemischen Überzeugungen für die Unterscheidung zwischen sophistizierten und naiven Ansichten (vgl. Kapitel 2.1.2). Dies zeigt, dass normative Setzungen in einzelnen theoretischen Rahmungen epistemischer Überzeugungen üblich waren und es zum Teil immer noch in jüngeren Ansätzen sind (z. B. Weinstock, 2010).

Auch die Abgrenzung beider Felder anhand des Kriteriums *Wissen vs. Ansicht* ist nicht ohne weiteres durchgängig haltbar. Im Laufe der Jahre wandelte sich der Fokus in der Forschung von „Nature of Scientific knowledge“ hin zu „Nature of Science“ (vgl. Schwartz, Lederman & Abd-El-Khalick, 2012, S. 686). Auch behandeln einige Studien jüngerer Datums die NOS-Aspekte als Ansichten („views“) zur *Natur des naturwissenschaftlichen Wissens* und nicht ausschließlich zur Natur der Naturwissenschaft. Zum Beispiel beziehen sich einige der NOS-Aspekte in der Studie von Khishfe und Lederman (2007) auf die Ansichten zum Wissen, wenn die Aspekte folgendermaßen benannt werden: „*Tentative nature of scientific knowledge*“ (S. 950), „*Creative/imaginative nature of scientific knowledge*“ (S. 952), „*Subjective nature of scientific knowledge*“ (S. 952), „*Empirical nature of scientific knowledge*“ (S. 953). Gerade die Unterscheidung zwischen *Nature of Science* und *Nature of Scientific Knowledge* (z. B. Carey & Smith, 1993), zeigen den fließenden Übergang zwischen den Forschungsfeldern zu Nature of Science und persönlicher Epistemologie, wenn es um die Ansichten bzw. Überzeugungen zum Wissen geht. Sicherlich spielt das zugrunde liegende Inhaltswissen und die sozial konstruierten Bilder (vgl. Kapitel 3.5.1) in den NOS-Ansichten zu naturwissenschaftlichem Wissen eine besondere Rolle, die Qualität der kognitiven Repräsentation ist jedoch eher mit epistemischen Überzeugungen als mit Inhaltswissen vergleichbar, wenn es um das Verständnis naturwissenschaftlichen Wissens geht („On understanding the *nature of scientific knowledge*“, Carey & Smith, 1993). Des Weiteren wird die Meinung, Nature of Science sei ein *lehr- und lernbarer* Inhalt für den Schulunterricht, ähnlich wie Evolution, Kraft und Materie, in dieser Form nicht von allen Naturwissenschaftsdidaktikern gleichermaßen geteilt. Matthews (2012) kritisiert genau diese Sichtweise, wenn er auf den Umgang mit den gängigen NOS-Aspekten („Lederman Seven“) im Unterricht eingeht, die häufig als zu lernender Inhalt angesehen werden.

“The negative side is that the list can, despite the wishes of its creators function as a mantra, as a catechism, as yet another something to be learnt. Instead of teachers and students reading, analyzing, and coming to their own views about NOS matters, the list often short-circuits all of this.” (Matthews, 2012, S. 11)

Auch Abd-El-Khalick (2005) hält es nicht für fruchtbar, wenn Lehrkräfte Nature of Science als zu lehrende und lernende Wissensinhalte ansehen, die im Unterricht genauso wie andere Unterrichtsinhalte behandelt werden:

“Instead of thinking of NOS concepts merely as new content to be covered in their future classrooms, these participants now employed their rather sophisticated NOS understandings as a tool for critical reflection, and as means of empowerment when thinking about their own teaching.” (Abd-El-Khalick, 2005, S. 33)

In diesem Zusammenhang scheint interessant, dass in einem neueren Rahmenpapier für die naturwissenschaftliche Bildung in den USA ein neuer Begriff in Erscheinung tritt, der nicht mehr in das Schema *Wissen* (für NOS-Aspekte) und *Ansicht* (für epistemische Überzeugungen) zu passen scheint: “*Understanding how science functions requires a synthesis of content knowledge, procedural knowledge, and epistemic knowledge*“ (NRC, 2012, S. 78). Die Rede ist nicht von epistemischen Überzeugungen, sondern von *epistemischem Wissen*, das eine Synthese mit prozeduralem Wissen und Inhaltswissen erfordert, um ein Verständnis für die Funktionsweisen der Naturwissenschaften zu vermitteln. Hier wird deutlich, dass NOS-Aspekte nicht alleine als Inhaltswissen stehen können, sondern immer im Kontext mit anderen Formen des Wissens zu sehen sind, ähnlich wie es das Modell von Abd-El-Khalick (2013) beschreibt (siehe Kapitel 3.5.2). Auch in der Forschung zur persönlichen Epistemologie wird inzwischen häufiger der Begriff *Epistemic Cognition* verwendet, wenn epistemische Überzeugungen und Urteile im Umgang mit Geltungsbehauptungen (knowledge claims) aktiviert und gebildet werden (z. B. Kienhues, Ferguson & Stahl, 2016). Insofern ist bezüglich der Kriterien *Wissen* und *Ansicht* festzustellen, dass sich die Forschungsfelder zunehmend annähern.

Neumann und Kremer (2013, S. 226) schlagen zur angemessenen Berücksichtigung der unterschiedlichen Theorierahmen vor, im Zusammenhang von epistemischen Überzeugungen von „Ansichten“ und „Überzeugungen“ und im Kontext der Nature of Science von „vorunterrichtlichen ‚Alltagsvorstellungen‘“ zu sprechen. Diese Nomenklatur, die sich in der Benennung der Konstrukte ausschließlich am Theorierahmen und nicht an den zu bezeichnenden Konstrukten orientiert, wird den Gemeinsamkeiten beider Forschungsfelder nicht gerecht. Viel pragmatischer erscheint es, die Terminologie davon abhängig zu machen, was letztendlich bezeichnet wird. Geht es beispielsweise um die Natur naturwissenschaftlichen Wissens und die Frage, ob ein Individuum naturwissenschaftliches Wissen als vorläufig und veränderlich einschätzt, scheint es schlüssig, hier auch von Ansichten, Überzeugungen oder Urteilen statt von „Alltagsvorstellungen“ zu sprechen.

Der abschließenden Bewertung von Neumann und Kremer, es sei keine scharfe Abgrenzung zwischen Nature of Science und epistemischen Überzeugungen möglich, ist zuzustimmen. Zu ergänzen ist, dass der Versuch einer Abgrenzung insgesamt noch schwieriger erscheint, als Neumann und Kremer es darstellen. Ebenso ist zuzustimmen, dass eine Gleichsetzung beider Konstrukte aufgrund des unterschiedlichen Theorierahmens und der unterschiedlichen Forschungstradition (S. 226) nicht sinnvoll ist.

## 4.2 Konzeptionelle Unterschiede als sich ergänzende Aspekte einer integrativen Heuristik

Konzeptioneller Ansatzpunkt dieser Arbeit ist, die psychologische und naturwissenschaftsdidaktische Perspektive als sich gegenseitig sinnvoll ergänzende theoretische Rahmungen von Wissenschaftsverständnis zu verstehen. So stellen Neumann und Kremer fest, einige der Aspekte der Nature of Science wären nicht in den gängigen Definitionen epistemischer Überzeugungen berücksichtigt:

„So sind beispielsweise die notwendige Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung bzw. zwischen Theorie und Gesetz, das Erklären von Phänomenen als Ziel der Naturwissenschaften, die Rolle der Scientific Community oder die Eingebundenheit in einen gesellschaftlichen Rahmen in der klassischen Notation von epistemologischen Überzeugungen nicht zu finden.“ (Neumann & Kremer, 2013, S. 224)

Die hier von Neumann und Kremer genannten Aspekte stellen Ansichten und Inhalte derjenigen Art dar, welche nach Bromme et al. (2008) bei der Bildung angemessener epistemischer Urteile hilfreich sein können:

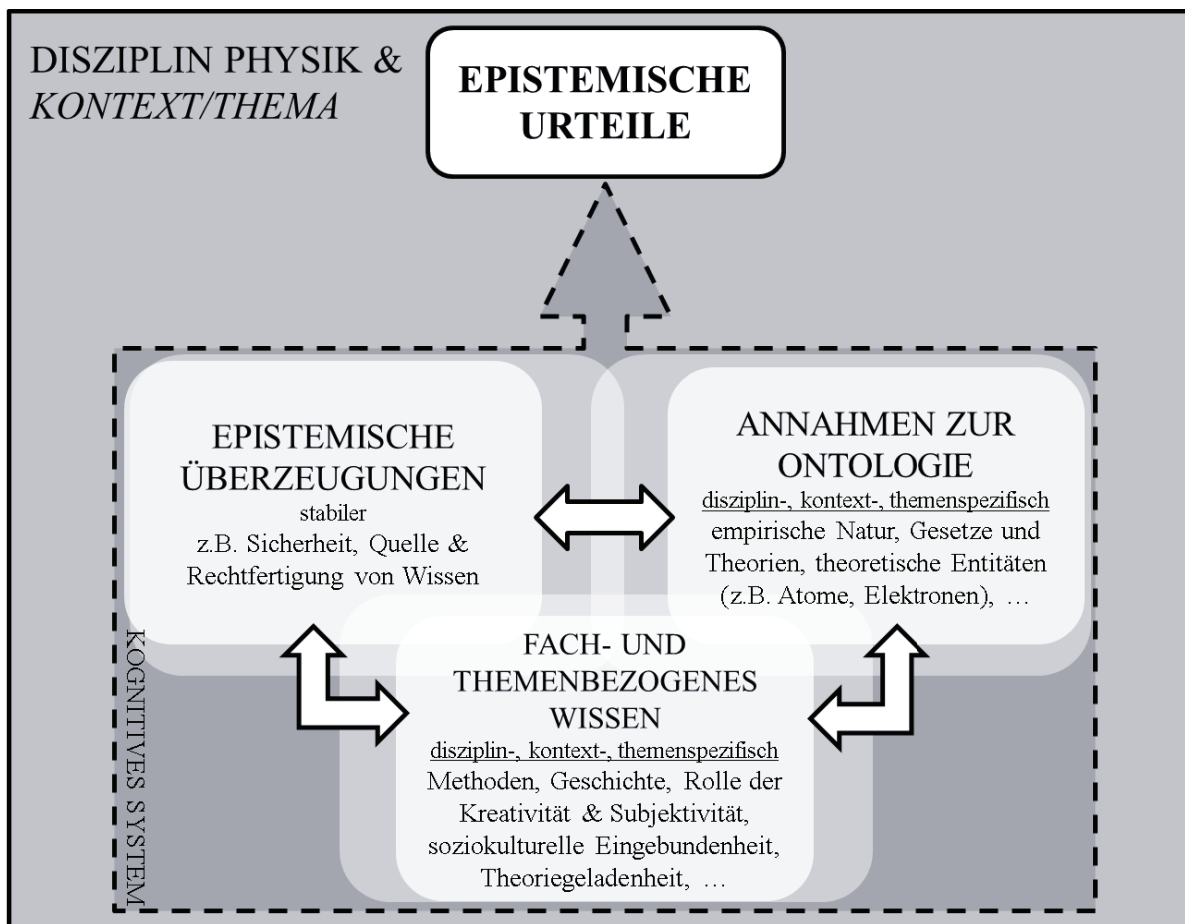
“It is obvious that some amount of topic-related knowledge is necessary in order to judge about the viability or ‘truth’ of knowledge claims. This includes for example knowledge about the research methods used to justify knowledge claims insofar as the ways of producing, justifying and distributing knowledge are specific for a certain discipline. (...) Furthermore, some ontological assumptions about the topic respectively the wider discipline the topic belongs to are necessary for the judgment about knowledge claims.” (Bromme et al., 2008, S. 429–430)

Da im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile (vgl. Kapitel 2.1.3) von der kontext- bzw. themenbezogenen, flexiblen Aktivierung und Interaktion verschiedener kognitiver Elemente bei der Bildung epistemischer Urteile ausgegangen wird, dient in dieser Arbeit die Annahme als Heuristik, dass bei der Beurteilung von Sicherheit, Veränderlichkeit und Quelle von Wissen in der Physik, themenbezogenes Inhaltswissen, Ansichten zu verschiedenen NOS-Aspekten und Annahmen zur Ontologie die kognitiven Elemente darstellen, die aktiviert werden können. Wissen über Methoden und Arbeitsweisen von Forschern, wissenschaftshistorisches Wissen zu einer (Teil-)Disziplin, die Genese von Wissen in einem Forschungsfeld, die Bedeutung von Wissenschaftlern in ihrer Zeit, Wissen über die Bedeutung von Modellen, exemplarisches Wissen über Forscherbiografien und der Rolle von Subjektivität und Kreativität für das Denken und die Arbeit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler usw. können als Wissen angesehen werden, das hilfreich bei der Beurteilung der Sicherheit, Gültigkeit und „Wahrhaftigkeit“ von Wissen in einem spezifischen Kontext ist.

Die Bildung eines epistemischen Urteils wird gerahmt durch Disziplin und Kontext bzw. dem Thema. Das Individuum aktiviert kognitive Elemente, die aus stabileren, domänenunabhängigen epistemischen Überzeugungen und domänen- bzw. kontextspezifischen Wissensbeständen

und Annahmen zur Ontologie oder zum Thema bestehen können. Je nach Kontext werden diese Elemente in Abhängigkeit und Interaktion von anderen Elementen aktiviert (vgl. Stahl, 2011, S. 52).

Dies wird in Abbildung 4.1 durch die Überlappungen in den Randbereichen der Elementgruppen visualisiert. Beispielsweise könnten Annahmen zur Ontologie zu theoretischen Entitäten, wie z. B. dem Atom, die Ansichten zur Rolle der Kreativität und Vorstellungskraft beeinflussen, wenn ein Individuum die Ansicht vertritt, es handele sich beim Wissen über Atome um eine modellhafte Näherung an eine dem Menschen nicht direkt zugängliche Entität. Dieses Individuum müsste demnach die Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft in der Entwicklung verschiedener Atommodelle anders einschätzen, als ein Individuum, das von der Vorstellung ausgeht, man könne die stoffliche Struktur eines Atoms durch entsprechende optische Vergrößerungshilfen, wie z. B. Mikroskope, direkt ablesen.

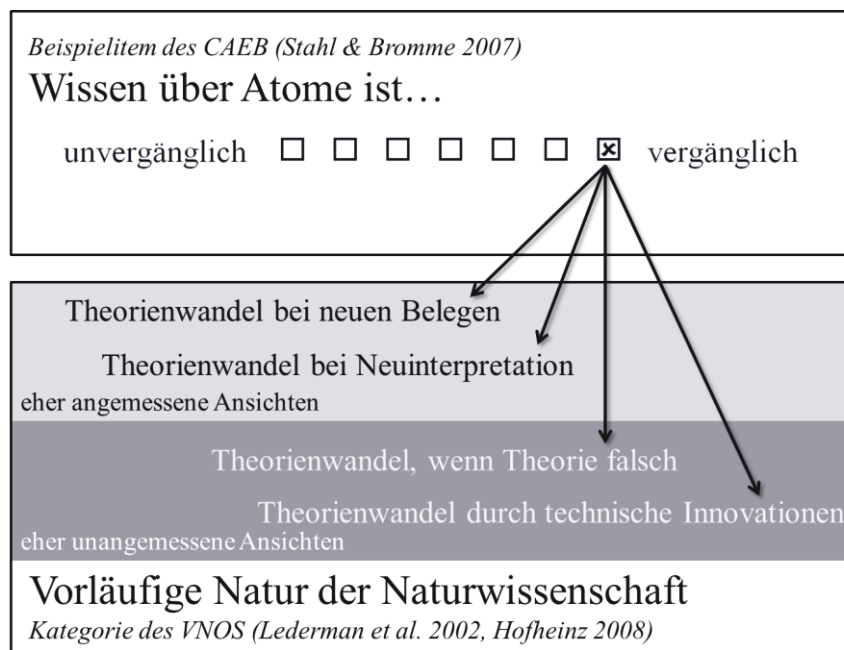


**Abbildung 4.1:** Heuristik: Wissenschaftsverständnis in Physik – ein integratives Modell

#### 4.3 Ziel: ein besseres Verständnis für die kognitiven Grundlagen der epistemischen Urteilsbildung

Diese Konzeptualisierung, bei der Ansichten zu Nature of Science als Grundlage für die Bildung epistemischer Urteile in naturwissenschaftlichen Kontexten verstanden werden, ermöglicht bei Messung und Analyse einen differenzierteren Blick auf den Prozess und die Basis der

Urteilsbildung. Dem in Kapitel 2.3 aufgezeigten Problem, dass eine direkte Messung epistemischer Überzeugungen mit den bislang genutzten Fragebogeninstrumenten im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile nicht möglich erscheint und immer nur kontextspezifische epistemische Urteile erfasst werden können, kann insofern begegnet werden, als dass anhand der Analyse der NOS-Ansichten in Kombination mit der Messung der epistemischen Urteile die Bildung kontextspezifischer epistemischer Urteile besser verstanden werden kann. Beispielsweise kann ein epistemisches Urteil zur Vorläufigkeit des Wissens über Atome auf ganz unterschiedlichen Vorstellungen zu Veränderungsprozessen und weiteren damit zusammenhängenden NOS-Ansichten beruhen. Wenn konnotative epistemische Urteile z. B. zur Vergänglichkeit mit dem CAEB (Stahl & Bromme, 2007), wie in Abbildung 4.2 dargestellt, erhoben werden, bleiben die Vorstellungen und das inhaltliche Wissen des Individuums zu Vorläufigkeit bzw. Veränderlichkeit im Dunkeln. Eine genauere Analyse und Differenzierung der Grundlagen des Urteils kann mit Hilfe der Messung und Untersuchung der NOS-Aspekte geleistet werden. In den Kategoriensystemen der Erhebungsinstrumente von Lederman et al. (2002) und Hofheinz (2008), ist zu erkennen, wie die Ansichten und das Wissen zur Vorläufigkeit auf einer feineren Ebene durch die NOS-Aspekte aufgefächert sind.



**Abbildung 4.2:** Beispiel für ein epistemisches Urteil zur Vergänglichkeit von Wissen mit möglichen zugrunde liegenden NOS-Ansichten zur vorläufigen Natur der Naturwissenschaften

Würde man ausgehend von dem epistemischen Urteil nachfragen, warum ein Individuum so geantwortet hat und gäbe man diesem Individuum die Möglichkeit, sein Urteil ausführlicher zu begründen, dann könnten beispielsweise NOS-Ansichten zur Veränderlichkeit von Theorien in Verbindung mit Inhaltswissen zur Forschung in der Kernphysik sichtbar werden. Die Bildung eines konnotativen epistemischen Urteils zur Vorläufigkeit von Wissen über Atome kann demnach durch entsprechendes denotatives Wissen konkretisiert werden, das wiederum mit themenspezifischem Wissen zu Atomen (z. B. Struktur des Atoms), dem Modellverständnis und

Wissen über die Geschichte der Erforschung des Atoms (z. B. Methoden, Genese verschiedener Theorien bzw. Modelle) verbunden ist. Demnach können NOS-Ansichten dabei helfen, die Bildung epistemischer Urteile auf einer feineren Ebene zu untersuchen und zu verstehen.

#### 4.4 Disziplin- und kontextspezifische Aspekte des Wissenschaftsverständnisses in Physik

Da Ergebnisse verschiedener Studien auf die Disziplin- und Kontextspezifität der persönlichen Epistemologie hinweisen (z. B. Bråten et al., 2013; Pieschl et al., 2013; Sin, 2014; Stahl & Bromme, 2007; Topcu, 2013) und im Rahmen des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile von einer hohen Kontextspezifität bei der Bildung epistemischer Urteile ausgegangen wird, werden im Folgenden Gründe für eine disziplin- und kontextspezifische Konzeptualisierung dargelegt. Hierzu ist vorweg anzumerken, dass auch in der Naturwissenschaftsdidaktik einige Argumente für die Konzeptualisierung von Wissenschaftsverständnis auf Ebene der einzelnen Teildisziplinen sprechen (siehe auch Kapitel 3.3). Dabei wird besonders die unterschiedliche Entwicklung der einzelnen Disziplinen als Argument angeführt. Abd-El-Khalick und Lederman (2000) heben diesbezüglich besonders die Physik als Beispiel hervor, da sich in ihr der „Sprung“ vom klassischen deterministischen Ansatz hin zum indeterministischen Ansatz der Quantenphysik vollzogen hat (S. 666). Entsprechend können sich verschiedene NOS-Ansichten und epistemische Sichtweisen entwickeln und parallel bestehen. Deshalb wird auch empfohlen, NOS-Ansichten, die sich auf die Epistemologie einer Disziplin beziehen, disziplinspezifisch zu betrachten (Sin, 2014).

Bezogen auf den Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile ist davon auszugehen, dass sich bei der epistemischen Beurteilung von Wissen in Physik in unterschiedlichen Kontexten bzw. Themen (z. B. klassische und moderne Physik) Annahmen zur Ontologie der Physik auf die epistemische Urteilsbildung unterschiedlicher Personengruppen auswirken. Beispielsweise vertreten Physiker meist einen ontologischen Reduktionismus, der von einem einheitlichen, meist als materiell gedachten Substrat der Realität ausgeht (vgl. Römer, 1999, S. 3), welches durch empirische Methoden untersucht werden kann. Ein radikaler Konstruktivist hält dagegen die Annahme, objektive Erkenntnisse über die Wirklichkeit seien empirisch nicht möglich. Die NOS-Ansichten zur empirischen Basis der Naturwissenschaften (Beobachtung und Schlussfolgerung) können solche Annahmen zur Ontologie enthalten. Ebenso sind Ansichten zu physikalischen Gesetzen und Theorien eng verbunden mit Annahmen zur Ontologie. So stellt sich beispielsweise die Frage, ob es sich bei physikalischen Naturgesetzen um Entitäten handelt, die schon immer vorhanden sind und nur noch vom Menschen entdeckt werden müssen oder durch den menschlichen Wunsch nach Ordnung der Natur aufgeprägt oder erdacht und so als etwas vom Menschen „Ge-setztes“ existieren (vgl. Römer, 1999, S. 222). Des Weiteren existieren im Kontext der Quantenphysik theoretische Entitäten, die bei verschiedenen Individuen zu unterschiedlichen Annahmen über deren Ontologie führen können. Ein Laie wird in diesem Fall eher die Vorstellung eines extrem kleinen, stofflichen Objekts haben, wohingegen



ein Experte weiß, dass Begriffe wie Identität, Existenz, Substanz, Materie und Teilchen nicht ohne Weiteres auf diese Form von Entitäten anwendbar sind (vgl. dazu Herrmann, 2012, S. 18–19).

Bei der Unterscheidung zwischen klassischer und moderner Physik spielt der Aspekt der *Unsicherheit* für das Verständnis und die Beurteilung physikalischen Wissens eine bedeutende Rolle. Empirische Hinweise dafür sind beispielsweise in einer Studie von Baily und Finkelstein (2009) zu finden, die die Unterschiede im Lernen klassischer und moderner Physik bei Studierenden untersuchten. Sie stellen diesbezüglich fest, dass der Übergang zwischen klassischer Physik und Quantenphysik im Hinblick auf die jeweilige Epistemologie und Ontologie schwierig ist (S. 010106-1). Baily und Finkelstein konnten zeigen, dass nicht alle Studierenden in der Lage waren, zwischen der Unsicherheit in der klassischen Physik und der Unsicherheit in der Quantenphysik angemessen zu differenzieren (S. 010106-7).

Römer (1999) beschreibt aus Sicht eines theoretischen Physikers und Naturphilosophen die Anzahl an Positionen, die man zu Fragen der Epistemologie, Ontologie und Determinismus in der Physik einnehmen kann, als unendlich. Er unterscheidet zwischen zwei Extrempositionen: der Position des Mechanisten und der des Künstlers. Die Position des Mechanisten beinhaltet die Vorstellung objektiver Naturgesetze, den Gesetzen der Materie, die den Ablauf aller Erscheinungen bestimmen und außerhalb derer nichts real Seiendes existiert. Diese Position hält er für diejenige, die das Bild der Physik in der Öffentlichkeit prägt:

„Auch wenn diese Position aus der Sicht der heutigen Physik als veraltet erscheint, schwebt sie doch vielen als das eigentliche Weltbild der Physik und der Naturwissenschaft vor. Zwar handelt es sich eher um ein Zerrbild der Physik, aber das sogenannte mechanistische Weltbild ist auch heute noch Ausgangspunkt vieler Überlegungen zu Wesen und Funktion der Naturwissenschaften und zu ihrer Unterscheidung von den Geisteswissenschaften.“ (Römer, 1999, S. 223)

Das Bild der modernen Naturwissenschaften steht im Widerspruch zum von Römer beschriebenen mechanistischen Zerrbild. Heisenberg geht in verschiedenen Veröffentlichungen auf das Verhältnis des Menschen zu den Naturwissenschaften (und im Besonderen der Physik) und deren Auswirkungen auf das Wissenschaftsverständnis ein. Die neue Situation beschreibt Heisenberg (1971b) so, dass Materie, als letzte objektive Realität gedacht, gar nicht mehr „an sich“ betrachtet werden kann (S. 121). Die Physik Newtons sieht Heisenberg als Ausgangspunkt für das Bild einer exakten Naturwissenschaft, da sich mit ihr die Methodik der neuzeitlichen Naturwissenschaften ausgebildet hat. Es sei die Vorstellung entstanden, man könne letzten Endes alle physikalischen Phänomene von der Newtonschen Begriffsbildung her verstehen, deren wichtigsten Begriffe Zeit, Raum, Körper, Masse, Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft waren. In der modernen Physik sind diese Begriffe jedoch nicht mehr ohne Weiteres anwendbar. Beispielsweise greift in der Relativitätstheorie der Newtonsche Zeitbegriff bei hohen Geschwindigkeiten und die in der Newtonschen Mechanik vorausgesetzte Vorstellung von Gleichzeitigkeit nicht mehr (S. 278). „*Der Begriff der Gleichzeitigkeit war relativiert, und die*

*Struktur unseres physikalischen Denkens, das ja die Begriffe ‚Raum‘ und ‚Zeit‘ voraussetzt, war geändert.“* (Heisenberg, 1971a, S. 282). Auch in der Quantenphysik seien objektive Beschreibungen von Ort, Geschwindigkeit, Energie nicht mehr möglich und wurden zugunsten von Beschreibungen von Beobachtungssituationen aufgegeben, in denen Wahrscheinlichkeiten für gewisse Ergebnisse angegeben werden (Heisenberg, 1971a, S. 275–278). Heisenberg (1971b) beschreibt, wie sich durch die Veränderungen in der modernen Physik das Bild des Menschen von der Natur verändert hat. Gegenstand der Forschung sei nicht mehr die Natur an sich, sondern die der menschlichen Fragestellung ausgesetzten Natur, wobei mathematische Formeln nicht mehr die Natur abbilden, sondern unsere Kenntnis über die Natur (S. 122). *„Wenn von einem Naturbild der exakten Naturwissenschaft in unserer Zeit gesprochen werden kann, so handelt es sich also eigentlich nicht mehr um ein Bild der Natur, sondern um ein Bild unserer Beziehungen zur Natur“* (Heisenberg, 1971b, S. 125). Das Weltbild in der modernen Physik hat sich grundlegend geändert: *„Das naturwissenschaftliche Weltbild hört damit auf, ein eigentlich naturwissenschaftliches zu sein“* (Heisenberg, 1971b, S. 126).

Weiter stellt Heisenberg (1971c) das Versagen der Sprache bei der Beschreibung von Mikro- und Makrokosmos fest. Vor der modernen Physik schien eine um Kunstwörter erweiterte Sprache auszureichen, um die in der Natur gefundenen Zusammenhänge zu beschreiben. Die menschliche Sprache hat sich im Umgang mit der sinnlich erfahrbaren Welt ausgebildet. Die moderne Physik dagegen dringt mit Hilfe technischer Neuerungen in Gebiete vor, die unseren Sinnen nicht zugänglich sind (S. 160–161). Deshalb beginnt unsere Sprache an vielen Stellen zu versagen. Selbst die scheinbar einfachen Begriffe wie Raum und Zeit mussten neu überdacht werden. Wenn mit Sprache beschrieben wird, was in den kleinsten Bereichen passiert, dann ist das nur mit einer unbestimmten, ungenauen und gleichnishaften Sprache möglich (S. 166–173). Heisenberg stellt exemplarisch dar, wie der Begriff „Zustand“ in der Quantenphysik eine gänzlich abweichende Bedeutung von der Bedeutung der Alltagssprache hat. *„Man erkennt sofort, dass dieser Gebrauch des Wortes ‚Zustand‘, besonders des Ausdrucks ‚koexistierender Zustand‘, so verschieden ist von dem der gewöhnlichen materialistischen Ontologie, dass man zweifeln kann, ob man hier noch eine zweckmäßige Terminologie benützt“* (Heisenberg, 1971c, S. 178).

Das Verhältnis verschiedener Individuen mit unterschiedlichem Fachwissen zur modernen Physik gestaltet sich im Vergleich zwischen Experten und Laien komplexer. So stellt Honerkamp (2013) in Bezug auf Heisenberg fest, die Ergebnisse der Quantenphysik seien zwar für alle Menschen gleichermaßen gültig, sie können aber nicht ein Quant „sehen“ wie es sich „objektiv“ in seiner Welt gibt. Das Verhältnis des Menschen zur Quantenwelt sei komplizierter. Ein Experte auf diesem Gebiet könne sehr wohl deterministisch die Zustandsänderung eines Quantenobjekts berechnen. *„Insofern hat man eine vollständige Kontrolle über die Welt der kleinsten Dimensionen, man kann also berechnen, wie sich ein Quant ‚objektiv‘, gewissermaßen ‚hinter der Bühne‘ verhält.“* (Honerkamp, S. 64–65). Erst durch Kontaktaufnahme mit dieser Welt

durch Mess- und Beobachtungsinstrumente erhalte man eine Antwort, die subjektiv und zufällig sei, da durch das Messen der Zustand des Quantenobjekts spontan verändert werde. Die Unangemessenheit der Sprache, wie sie Heisenberg darstellt, führt zu einem grundsätzlichen Verständnisproblem für Laien: „*Wer die Quantenphysik nur in der Alltagssprache kennen lernt, hat leider so nicht die geringste Chance, sinnvolle Schlüsse auf diesem Gebiet zu ziehen*“ (Honerkamp, 2013, S. 67). Ausgehend von dieser Feststellung liegt es nahe, dass Experten auf dem Gebiet der Quantenphysik das Wissen über Quantenobjekte sicherer einschätzen, da sie präzise Vorhersagen auf deterministische Weise anstellen können. Laien und Novizen dürften dagegen Wissen über Atome, Elektronen, Quarks usw. als eher unsicher beurteilen, da sie die der Quantenphysik inhärente Unsicherheit, das Verhältnis zwischen Subjekt und Objekt und das zugrunde liegende naturwissenschaftliche Weltbild der modernen Physik auf die Bildung epistemischer Urteile zum Wissen in der modernen Physik übertragen.

Wenn es um die Beurteilung von Sicherheit und „Wahrhaftigkeit“ von Wissen in der Physik geht, sollten die hier dargestellten Unterschiede zwischen klassischer und moderner Physik berücksichtigt werden. Es ist davon auszugehen, dass sich themenspezifisches Wissen zu Bereichen der klassischen und modernen Physik und zu deren Unterschieden auf die kontextspezifische Bildung epistemischer Urteile in Physik auswirkt.

## 5. Learning by Design – Lernen durch Medienproduktion

### 5.1 Begriffsbestimmung und Grundlagen

Die „Encyclopedia of the sciences of learning“ definiert *Learning by Design* als die Konstruktion von Wissen sowie die Ausbildung von (Denk-)Fähigkeiten, die das Ergebnis eines bewussten Bestrebens von Lernenden zur Anfertigung eines externalen Artefakts darstellt, das sowohl funktional als auch ästhetisch ansprechend und bedeutsam für die Lernenden ist. „*Learning by Design is designing to learn*“ (Safro, 2012, S. 1817). Diese allgemeine Definition bezieht sich sowohl auf Gestaltungsprozesse im Umgang mit realen Objekten in Lernkontexten als auch auf digitale Artefakte in (multi-)medialen Lernumgebungen. Der Begriff „Design“ hat seinen Ursprung im mittellenglischen Wort „designen“, was anzeichnen, abstecken, definieren oder das Erstellen eines Plans, einer Skizze oder eines Musters bedeutet (S. 1817). Im Kontext von Lern- und Bildungsprozessen bezieht sich Design auf die ganze Bandbreite von Aktivitäten, die ein professioneller Designer vollzieht und die für das Lernen genutzt werden, wie z. B.:

- die Entwicklung von Verständnis für eine Herausforderung
- Verständnis für die Umgebung entwickeln, in der die Lösung gut funktioniert
- Generierung von Ideen
- Lernen neuer Konzepte zur Problemlösung
- Entwicklung und Erprobung von Modellen
- Analysieren, Überdenken und Überarbeiten
- vorangegangene Arbeitsschritte wiederholen, um mit der Problemlösung voranzukommen (vgl. Kolodner et al., 2003, S. 504)

Learning by Design wird im Kontext konstruktivistischer Lerntheorie gesehen, die den Wert des Lernens anhand schöpferischen Tuns, Programmierens und anderen Formen des Gestaltens betonen. „*The essence of Learning by Design is in the construction of meaning*“ (Han & Bhattacharya, 2001, S. 132). Bei der Erschaffung eines externen Artefakts werden folgende Ziele gleichzeitig verfolgt: Anbahnung allgemeiner und domänenspezifischer Problemlösungsprozesse sowie der (domänenspezifische) Erwerb von Wissen (S. 1817).

Learning by Design bezieht sich in einigen Konzeptionen ausschließlich auf die Gestaltungsprozesse im Umgang mit (digitalen) Medien (z. B. Fessakis, Tatsis & Dimitracopoulou, 2008; Reimann & Zumbach, 2001; Shaltry, Henriksen, Wu & Dickson, 2013; Stahl, 2009, 2010). Ähnlich wie oben allgemein dargestellt, werden die Vorteile im Gestalten von Medienprodukten anhand von digitalen Werkzeugen und Informationstechnologie für das Lernen darin gesehen, dass Lernende im Designprozess eine authentische, komplexe Aufgabe bearbeiten und dabei Teilziele definieren, Fragen formulieren, multiple Informationsquellen durchsuchen und koordinieren, ihre Entscheidungen begründen sowie ihre Design-Lösungen evaluieren und präsentieren (vgl. Reimann & Zumbach, 2001, S. 8).

Es existieren weitere Konzeptionen, die im Wesentlichen die gleichen Ziele verfolgen, jedoch anders bezeichnet werden: z. B. Learning by collaborative Designing (Vartiainen, Liljeström & Enkenberg, 2012), Learners-as-Designers (Proske, Damnik & Körndle, 2011), Learners as Multimedia Designers (Liu, 2003), Students-as-Designers (Kimber & Wyatt-Smith, 2006), Design-based learning (de Vries, 2006; Ke, 2014) oder Design-orientierte Pädagogik (Anu, Jorma & Sinikka, 2013). Beim Vergleich der Konzeptionen überwiegen die Gemeinsamkeiten, wobei die verschiedenen Ansätze zum Teil unterschiedliche Schwerpunkte setzen. Die verschiedenen Schwerpunkte beziehen sich beispielsweise auf den aktiven Wissenserwerb (z. B. Proske et al., 2011; Stahl, 2009), die Ausbildung kognitiver Fähigkeiten (z. B. Liu, 2003) oder das kollaborative Lernen unter Nutzung sozialer Netzwerke (z. B. Vartiainen et al., 2012).

Diejenigen, die am meisten von der Erstellung und Gestaltung von Lehr- und Lernmaterialien profitieren, sind die Designer und nicht die Lernenden, für die ursprünglich die Materialien gedacht sind. Zu diesem Ergebnis kamen Jonassen, Wilson, Wang, und Grabinger (1993, zit. nach Jonassen, 1995, S. 42), nachdem sie Expertensysteme für angehende Entwickler von Lernmaterialien anfertigten. Sie stellten fest, der Prozess der Wissensartikulation bei der Erstellung der Materialien bringe die Entwickler dazu, ihr Wissen auf neue und bedeutungsvolle Weise zu reflektieren. Der Design- und Entwicklungsprozess von Unterrichtsmaterialien ermöglicht den Designern eine tiefere Auseinandersetzung mit den Lerninhalten als den Lernenden, deren Denken eher durch die gestalteten Lerninhalte geleitet und kontrolliert wird. Jonassen schließt daraus, dass die Lernenden gestärkt und unterstützt werden sollten, indem sie die Rolle von Designern einnehmen und dabei Technik, wie z. B. Computer, als kognitive Werkzeuge nutzen (vgl. Jonassen, 1995, S. 42–43). Wesentlich für eine solche Nutzung kognitiver Werkzeuge in Designprozessen ist, ob die Technologie die Lernenden in die Lage versetzt, sich mit den Inhalten des zu erstellenden Designprodukts intensiv auseinander setzen zu können. Nur so kann (digitale) Technik als kognitives Werkzeug fungieren (vgl. Proske et al., 2011, S. 201). In der Rolle von Designern erkunden Lernende dann Möglichkeiten und Bedingungen, nutzen kritisches Denken, um die Ausgangslage für die Schaffung eines Artefakts zu untersuchen, nutzen Brainstorming, arbeiten gemeinsam zielorientiert, (re)definieren die Anforderungen, bewerkstelligen die für die Erstellung des Artefakts nötigen Prozesse und bewerten und wiederholen gegebenenfalls einzelne Schritte (vgl. Safro, 2012, S. 1818). Dabei ermöglicht es Learning by Design dem Lernenden, kontextualisiert Wissen und Fähigkeiten zu erzeugen und zu konstruieren. Safro verweist auf Carver, Lehrer, Connell und Erickson (1992) indem er folgende Aspekte als allgemeine Ziele und wichtige Verhaltensweisen in einer Learning by Design-Umgebung nennt:

- Lernende extrahieren wesentliche Konzepte und Fähigkeiten aus Beispielen und Erfahrungen
- Lernende werden zum Lernen motiviert
- Lernende werden ermutigt, Fragen zu stellen

- Lernende begegnen im Gestaltungsprozess verschiedenen Konzeptionen und Misskonzeptionen
- Lernende erstellen Zeitpläne, teilen Ressourcen und Team-Rollen zu
- Lernende entwickeln Methodenkompetenz
- Lernende organisieren und präsentieren
- Lernende werden zur Reflexion ermutigt

Der Grundgedanke dabei ist, dass kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten entwickelt und gefördert werden, indem die Lernenden die konzeptuellen und funktionalen Prinzipien und Regeln des externen Artefakts bedenken, reflektieren, überprüfen und restrukturieren (Safro, 2012, S. 1819). Etwaige Fehler der Lernenden stellen dabei Möglichkeiten zur Überprüfung und Überarbeitung neu entwickelter Konzepte dar. Auch beinhaltet die Bearbeitung eines Artefakts automatisch Wiederholungen von Gestaltungsschritten, die zur Verfeinerung des Produkts führen. Dabei kann jede gut durchgeführte Wiederholung zum besseren Verständnis von Konzepten, Fähigkeiten und Praktiken beitragen (Kolodner et al., 2003, S. 504–505).

Im Wesentlichen haben alle hier aufgeführten Ansätze die Übernahme der Rolle des Designers durch den Lernenden gemeinsam, um inhaltlich bzw. konzeptuell zu Lernen und Wissen zu erwerben. In diesem Sinne ist Learning by Design eine produktionsorientierte Methodik zur Wissensvermittlung, bei der kognitive, selbstregulatorische und soziale Kompetenzen gefördert werden.

„Das Ziel des Konzepts besteht darin, die Produktion von Medien funktional im Unterricht einzusetzen, so dass nicht nur die Medienkompetenz der Lernenden verbessert wird, sondern durch den Produktionsprozess die Reflexion über das aufzubereitende Themengebiet angeregt und somit ein vertiefter Wissenserwerb angestrebt wird“ (Stahl, 2009, S. 241).

Die Technik, die als kognitives Werkzeug für den Wissenserwerb zum Einsatz kommt, kann bei Learning by Design variieren. Das Schreiben von Hypertexten (z. B. Stahl & Bromme, 2005) oder die kollaborative Gestaltung von Hypervideos (z. B. Stahl, Finke & Zahn, 2006) ermöglichen und initiieren genauso Lernprozesse, wie die Gestaltung anderer Medienprodukte. So bietet sich auch die Produktion von (nicht hypermedialen) Filmen zum Wissenserwerb an (z. B. Hakkarainen, 2011; Stahl, 2010). Diesbezüglich verfolgt Hakkarainen (2011, S. 40) bei der Produktion von Videos im Unterricht das Ziel, experimentelle, multirepräsentationale, kreative und kollaborative Aspekte bedeutsamen Lernens zu unterstützen. Ähnlich argumentieren Hofer und Owings-Swan (2005), die digitale Filmproduktion als eine Chance sehen, Technologie, schülerzentrierte Pädagogik und Inhalte sinnvoll und ausgewogen miteinander zu verbinden. Sie beschreiben digitale Filmproduktion als die Nutzung verschiedener Medien (Bilder, Ton, Text, Video und Erzählung), um Verständnis zu befördern, indem mit Hilfe von nutzerfreundlichen Bearbeitungswerkzeugen, wie z. B. Windows Moviemaker oder Apple Movie, Videos kreiert werden, um Informationen zu kommunizieren. Lernende können so beispiels-

weise digitale Dokumentationen zu historischen Figuren, Filme zu bedeutsamen wissenschaftlichen Konzepten im Zeitraffer, digitale Memoiren oder medial gestaltete Gedichte erschaffen (S. 104). Eine weitere Variante des Wissenserwerbs durch Medienproduktion ist das *Digital Storytelling*, bei dem nicht die Produktion von Filmen im herkömmlichen Sinne, sondern schwerpunktmäßig das *Erzählen* zu einem Thema durch die Aufbereitung von Inhalten durch Montage von Bildern und Ton im Vordergrund steht und dabei verschiedene technische Hilfsmittel genutzt werden. Robin (2008, S. 226–227) betont die Bedeutung von Digital Storytelling für die Verbindung von Technologie und konstruktivistisch orientiertem Lernen, um neben dem Wissenserwerb zu den medial aufbereiteten Inhalten wichtige Kompetenzen und Fähigkeiten für das 21. Jahrhundert (*21 Century Skills*) anzubahnen und zu fördern. In jüngerer Zeit werden auch verstärkt die partizipativen und kollaborativen Möglichkeiten des Online-Lernens im sogenannten *Web 2.0* beim Einsatz von Learning by Design herausgestellt (z. B. Stahl, 2010, S. 91–93). Die technischen Möglichkeiten des Web 2.0 stellen im Sinne von Jonassen (1995) kognitive Werkzeuge dar, mit denen Lernende beispielsweise gemeinsam an (Hyper-)Texten in Form von Wikis oder Bloggs arbeiten (z. B. Chen, Cannon, Gabrio & Leifer, 2005; Fessakis et al., 2008), Hörbeiträge in Form von Podcasts gestalten (z. B. Taylor, McGrath-Champ & Clarkeburn, 2012) oder kollaborativ Videos auf *youtube* produzieren (z. B. Zahn et al., 2013).

Um Learning by Design in Schule und Unterricht für Wissenserwerb und andere Lernprozesse nutzbar zu machen, bedarf es Lehrkräften, die in der Lage sind, entsprechende Lernprozesse in der Schule zu initiieren. Dafür ist es notwendig, Learning by Design-Aktivitäten in die Lehrerbildung zu integrieren, um exemplarisch die Vorteile des Konzepts für das Lernen aufzuzeigen und praktische Beispiele sowie die nötigen technischen Kompetenzen zu vermitteln. Shaltry et al. (2013) nutzen beispielsweise Learning by Design in der Ausbildung zukünftiger Lehrkräfte, indem die Studierenden ihre Vorstellungen zur zukünftigen Lehrerrolle in einer gemeinsam gestalteten Website aufbereiten und zudem den Prozess in einem E-Portfolio dokumentieren (S. 22).

Neben technischer Kompetenzen erfordert die Umsetzung von Learning by Design von Lehrkräften Offenheit, Flexibilität und „Abenteuerlust“, da im Unterschied zu traditionellen Settings Learning by Design strukturell offener ist und die Lernenden selbstbestimmter und unabhängiger arbeiten (vgl. Liu, 2003, S. 37). Auch das spricht für die Integration von Learning by Design in die Lehrerbildung, damit die zukünftigen Lehrkräfte diese Form des Lernens einerseits aus der Perspektive der Lernenden selbst erfahren und sie andererseits den Ablauf und die Offenheit von Learning by Design erleben und für ihre zukünftige Arbeit analysieren und reflektieren können.

## 5.2 Lernförderliche Aspekte von Learning by Design

Liu (2003) betont die Bedeutung des multimedialen Designs für die Entwicklung höherer kognitiver Fähigkeiten. Wenn Lernende projektbasiert multimediale Produkte erstellen, durchlaufen sie verschiedene Phasen, in denen jeweils spezifische Fähigkeiten entwickelt und trainiert werden. Die von Carver, Lehrer, Connell und Erickson (1992) genannten Fähigkeiten und kognitiven Fertigkeiten, die im Design-Prozess gefördert werden, ordnet Liu den Design-Schritten und den jeweiligen Aktivitäten zu (Tabelle 5.1).

**Tabelle 5.1:** Förderung bestimmter Fähigkeiten/Fertigkeiten nach Design-Phasen und ihren Aktivitäten

Design-Phasen	Design-Aktivität	Fähigkeiten/Fertigkeiten
Planung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brainstorming &amp; Diskussion</li> <li>• Diskussion mit „Kunden“</li> <li>• Treffen mit Zielpublikum</li> <li>• Informationssuche</li> <li>• Recherche</li> <li>• Bewertung kommerzieller Programme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragen stellen</li> <li>• Entscheidungen auf Basis des Problems treffen</li> <li>• Entwicklung neuer Informationen</li> <li>• Analyse und Interpretation von Informationen</li> </ul>
Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erarbeitung eines Konzepts</li> <li>• Recherche</li> <li>• Gruppendiskussionen</li> <li>• Multimedia-Werkzeuge kennen lernen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• einen Zeitplan ausarbeiten</li> <li>• Ressourcen und Zeit verschiedenen Projektabschnitten zuweisen</li> <li>• Rollen zuweisen</li> <li>• Entscheidungen über die Aufteilung der Informationen treffen</li> <li>• Entwicklung einer Struktur</li> </ul>
Produktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• multimediale Werkzeuge kennen lernen</li> <li>• Abbildungen einscannen</li> <li>• Zeichnungen erstellen</li> <li>• Animationen erstellen</li> <li>• Audioinformationen digitalisieren</li> <li>• Programmieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung von Repräsentationen anhand unterschiedlicher Medien</li> <li>• Übertragung des Entwurfs/Designs in ein Präsentationsmedium</li> <li>• Entwicklung einer Struktur</li> <li>• mit Einschränkungen umgehen (z. B. Zeit, Ausstattung,...)</li> </ul>
Evaluation & Revision	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gegenseitige Bewertung (peer evaluation) &amp; Überarbeitung</li> <li>• Bewertung durch „Kunden“ &amp; Überarbeitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feedback einholen</li> <li>• Absichten mitteilen</li> <li>• (öffentliche) Präsentationen</li> </ul>

**Anmerkung:** Übersicht nach Liu, M. (2003). Enhancing Learners' Cognitive Skills Through Multimedia Design. Interactive Learning Environments, 11 (1), 23. Liu bezieht sich bei den Inhalten der Spalte „Fähigkeiten/Fertigkeiten“ auf Carver et al. (1992).

Chen und McGrath (2003) sehen im Lernen durch Gestaltung auch die Vorteile, einerseits Einblick in die kognitiven Prozesse durch Visualisierungen und Wissensrepräsentationen zu erhalten und diese handhabbar zu machen und andererseits die Lernenden ihrer eigenen Wissenskonstruktionen bewusst werden zu lassen und diese zu reflektieren (S. 416). Dies wird ermöglicht, indem bei der Gestaltung und Produktion von Medienprodukten innere Vorstellungsbilder zu den Inhalten aufgebaut werden, um sie dann in dem jeweiligen Medienprodukt zu externalisieren bzw. zu elaborieren (vgl. Stahl, 2010, S. 96–97).



Umgekehrt kann die bewusste Aufbereitung der Inhalte durch verschiedene, aufeinander bezogene unterschiedlich codierte Informationen, wie z. B. Text und Bild, zum Aufbau multikodaler Wissensstrukturen beitragen (vgl. Stahl, 2009, S. 253). Das inhaltliche Lernen und die Förderung kognitiver Fähigkeiten finden im Rahmen von Learning by Design im Kontext problem- bzw. projektorientierten Lernens statt, durch das soziale Kompetenzen und Strategiewissen angebahnt und gefördert werden (vgl. Chen & McGrath, 2003; Hakkarainen, 2011; Liu, 2003; Stahl, 2009). Dabei werden auch wichtige (Selbst-)Erfahrungen über Zusammenarbeit, das zukünftige Arbeitsleben und den Lernenden als Gruppenmitglied vermittelt (vgl. Hakkarainen, 2011, S. 50).

In allen hier genannten Ansätzen wird der motivierende Charakter von Learning by Design herausgestellt. So berichtet beispielsweise Hakkarainen (2011, S. 49), dass die emotionale Involviertheit bei Studierenden beim Lernen durch Videoproduktion positiv ist und nur gering negative Emotionen auftreten. Auch wird bei der Gestaltung hypermedialer Dokumente von positiven Effekten auf das Engagement der Lernenden berichtet, die sich als Autoren und Designer enthusiastisch, stolz und hoch involviert in ihre Projekte einbringen (vgl. Chen & McGrath, 2003, S. 402). Chen und McGrath (2003), die mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I ein hypermediales Medienprodukt zu einem Thema erstellten, berichten vom hohen Engagement der Lernenden bei der Informationsorganisation und der Ausarbeitung der finalen Wissensrepräsentation (S. 402). Ebenso stellten sie fest, dass obwohl von den Lernenden neue Fertigkeiten bei der Gestaltung von hypermedialen Texten verlangt wurden, die Lernenden diese Art der Vorgehensweise im Vergleich zur herkömmlichen, linearen Vorgehensweise als einfacher einschätzten (S. 416). Insgesamt wurde diese Form des Lernens besonders von Schülerinnen und Schülern als attraktiv eingeschätzt, die ansonsten Probleme mit konventionellen Lernsituationen und –aufgaben haben.

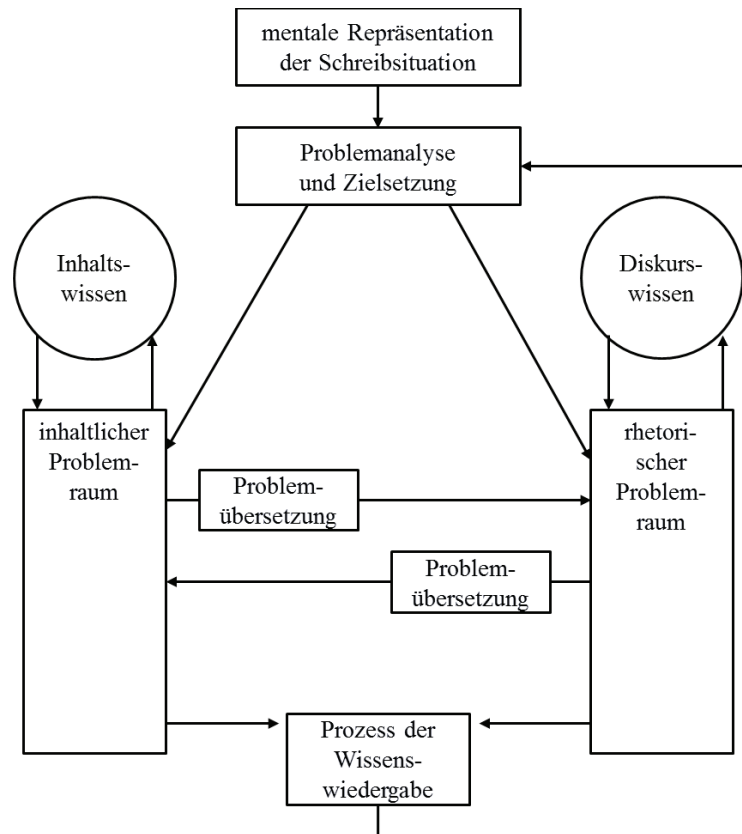
### 5.3 Modelle des Schreibprozesses und der Selbstregulation als konzeptionelle Grundlagen von Learning by Design

In vielen der oben dargestellten Konzeptionen wird der positive Einfluss von Learning by Design auf die Initiierung von Schreibprozessen betont. In einigen Ansätzen stellen Erkenntnisse der Schreibprozessforschung entweder die konzeptionelle Grundlage von Learning by Design dar oder es werden zumindest Bezüge zur Schreibprozessforschung hergestellt (z. B. Anu et al., 2013; Chen & McGrath, 2003; de Vries, 2006; Kimber & Wyatt-Smith, 2006; Kolodner et al., 2003; Stahl, 2009; Zahn et al., 2013). Ein wesentlicher Aspekt des Schreibprozesses, der in den meisten Ansätzen genannt wird, ist die Aufbereitung von Informationen für ein „echtes“ Publikum. *“The choice of the audience guides the learner as he/she designs the specific artifact”* (Safro, 2012, S. 1819). Carver et al. (1992) zeigen beispielsweise Möglichkeiten auf, Medienprodukte für ein echtes Publikum zu erstellen, indem Lernende als Designer für gleichaltrige oder jüngere Lernende Lernmaterialien entwickeln, Dokumentationen für lokale Medien produzieren oder Medienprodukte für Bibliotheken oder Museen erstellen (S. 386).

Der didaktische Ansatz von Learning by Design, an dem sich die Intervention im empirischen Teil dieser Arbeit orientiert, ist ein empirisch fundiertes Konzept, welches sich explizit auf Modelle der Schreibprozessforschung bezieht. Seine ersten Anwendungen fand das Konzept beim Lernen durch Schreiben und Gestalten von Hypertexten (Stahl & Bromme, 2005), es kann jedoch auch auf das Design anderer Medienprodukte übertragen werden (vgl. Stahl, 2010, S. 100). In der Konzeption wird vor allem auf die Schreibprozessmodelle von Flower und Hayes (1981) und Bereiter und Scardamalia (1987) Bezug genommen, für die Schreiben ein Problemlöseprozess darstellt.

Im Modell von Flower und Hayes (1981, S. 370) verfügen die Schreibenden über Wissen zum Thema, Wissen über das Zielpublikum und Wissen über Schreibhandlungen bzw. rhetorisches Wissen. Aufgrund ihrer kognitiven Ressourcen und der gestellten Schreibaufgabe, die Thema und Adressaten beinhaltet, gestaltet sich der Schreibprozess, bei dem die Schreibenden den Text planen, in Schriftsprache „übersetzen“, mit der Aufgabe abgleichen, das bisher Geschriebene überprüfen und revidieren. Der Prozess des Designs von Medien sieht Stahl in Analogie zum Schreibprozess. *„Entsprechend kann in Analogie auch die Konstruktion von anderen medialen Produkten als komplexer Problemlöseprozess angesehen werden, innerhalb dessen Autorinnen und Autoren sich aktiv mit den zu verarbeitenden Inhalten und dem entstehenden Produkt auseinandersetzen müssen“* (Stahl, 2009, S. 243). Stahl hält ausgehend von Hayes und Flower das Heranziehen der drei kognitiven Ressourcen *vorhandenes Sachwissen, rhetorisches Wissen* bzw. *Designwissen* sowie *Strategiewissen* als wesentlich für die Gestaltung von Medienprodukten. Bei der Erklärung dessen, wie der Schreibprozess inhaltliches Lernen und Wissenserwerb befördert, bezieht sich Stahl auf Bereiter und Scardamalia (1987). Sie erklären mit ihrem knowledge transforming Modell (Abbildung 5.1), wie Wissen durch Schreiben erworben wird.

Nach Bereiter und Scardamalia (1987) nutzen kompetente Schreibende, die aktiv ihren Text be- und überarbeiten, Strategien des Knowledge-Transformings. Während des Schreibprozesses bedenken und prüfen sie ständig, ob der Text tatsächlich auch das aussagt, was sie als Schreibende den Adressaten vermitteln möchten und ob sie selbst von dem überzeugt sind, was in ihrem Text steht. In diesem Prozess erwägen die Schreibenden also nicht nur Veränderungen des Textes, sondern auch Veränderungen bezüglich dessen, was sie aussagen wollen. Dies führt zu einer Interaktion zwischen Text- und Wissensbearbeitung bzw. den in Abbildung 5.1 dargestellten inhaltlichen und rhetorischen Problemräumen. Der Output des einen Problemraums dient als Input des anderen. Bereiter und Scardamalia illustrieren die Vorgänge des Knowledge-Transformings mit folgendem Beispiel: Eine Schreiberin arbeitet im rhetorischen Raum an der Klarheit ihres Texts und greift dabei auf ihr Wissen über Textmuster (discourse knowledge) zurück.



**Abbildung 5.1:** Knowledge Transforming Modell übersetzt nach Bereiter & Scardamalia, 1987

Dabei stellt sie fest, sie müsse die Bedeutung von „Verantwortung“ klären, auf die sie ihre Argumentation stützt. Dabei handelt es sich um ein inhaltliches Problem, an dem die Autorin im inhaltlichen Problemraum arbeiten muss und auf ihr Inhaltswissen zurückgreift. Sie stellt möglicherweise fest, es handelt sich bei „Verantwortung“ gar nicht um den Kern ihrer Argumentation. Stattdessen sieht sie beispielsweise „Beurteilungskompetenz“ als viel wesentlicher für ihre Argumentation an. Ausgehend von dieser inhaltlichen Entscheidung und Ausschärfung findet wieder der Wechsel in den rhetorischen Problemraum statt, in dem die Schreiberin den bisher geschriebenen Text so abändert, damit er zum neu herausgearbeiteten zentralen Kern des Textes passt. Dies kann wiederum zu neuen inhaltlichen Problemstellungen führen (S. 11). Durch diesen fortwährenden Wechsel zwischen den Problemräumen während des Schreibens, wird das Inhaltswissen zum Thema intensiv bearbeitet, reflektiert und transformiert.

Die Gemeinsamkeiten beim Gestalten und Schreiben von Hypertexten (und anderer Medienprodukte) im Vergleich zu traditionellen Texten sind nach Stahl und Bromme (2005, S. 223) wesentlich größer als die Unterschiede. Aus den Ergebnissen der Schreibprozessforschung leitet Stahl (2009, S. 244) deshalb folgende Schlüsse für das Lernen durch die Gestaltung von Medien ab: Bei der Erstellung von Medienprodukten interagieren inhaltsbezogenes Sachwissen, rhetorisches bzw. Designwissen und Strategiewissen mehr oder weniger reflektiert. Diese Interaktion der kognitiven Ressourcen ist die Voraussetzung für den Wissenserwerb zu den aufzubereitenden Sachinhalten des Medienprodukts. Wissen über grundlegende Merkmale und Gestaltungskriterium des zu erstellenden Medienprodukts ist Voraussetzung für die vertiefte

Reflexion der Inhalte. Um in die inhaltliche Planung eines zu erstellenden Medienprodukts einsteigen zu können, bedarf es Basiswissen zum Thema. Darüber hinaus bedarf es grundlegendem Strategiewissen, welches dabei hilft, die Interaktion zwischen Sachwissen und Designwissen zu koordinieren. Dabei können strategische Kompetenzen während des Gestaltungsprozesses gefördert werden.

Learning by Design wird von Stahl (2009, S. 245–247) nicht nur aus der Perspektive der Schreibforschung, sondern auch aus der Perspektive des selbstregulativen Lernens beleuchtet. Dabei bezieht er sich auf das COPES-Modell von Winne und Hadwin (1998). Das Akronym COPES steht für **C**onditions, **O**perations, **P**roducts, **E**valuations, **S**tandards. Abbildung 5.2 zeigt eine grafische Darstellung des Modells. Nach Winne und Hadwin beinhaltet ein vollständiges Modell des Lernens die vier folgenden Phasen (vgl. Winne & Hadwin, 1998, S. 279): Definition der Aufgabe, Zielsetzung/Planung, Umsetzung und Adaption. Ein Bündel an äußeren Faktoren (z. B. Aufgabenstellung, sozialer Kontext) und kognitiver Elemente (z. B. Überzeugungen, Motivation, Inhaltswissen, Strategiewissen) bestimmen die Bedingungen (*Conditions*) innerhalb derer sich die kognitiven Aktivitäten (*Operations*) vollziehen.

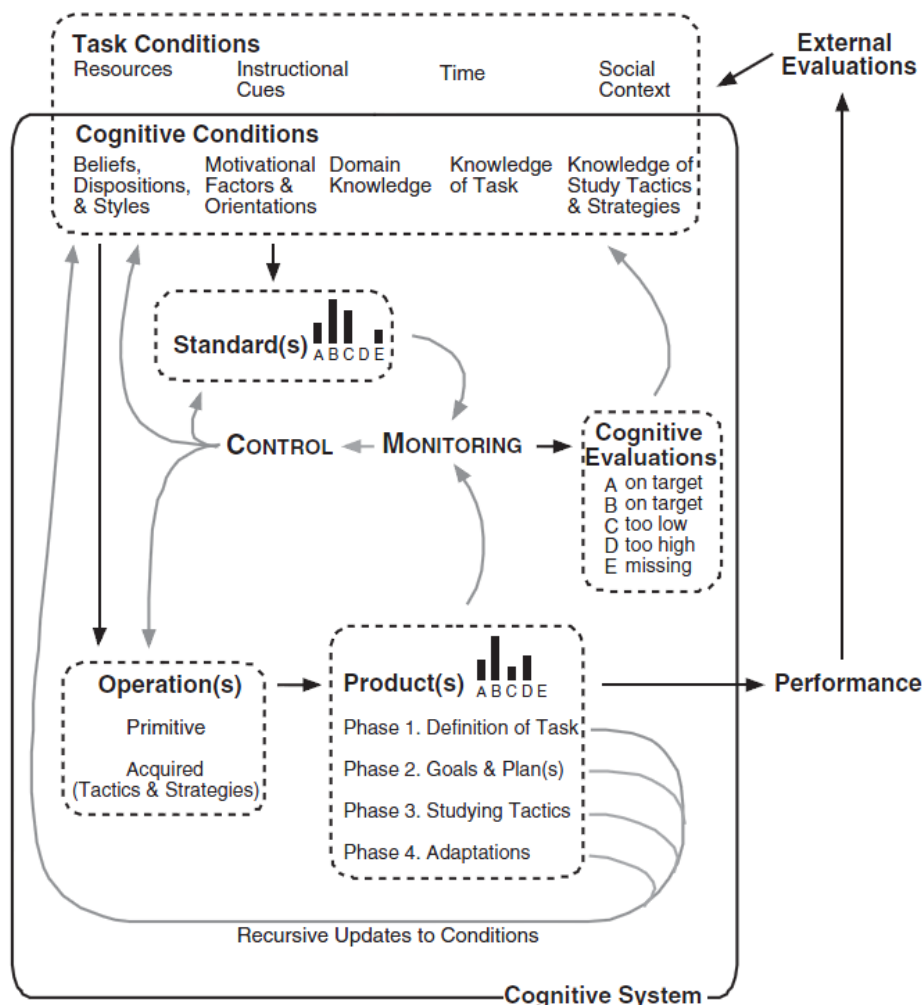


Abbildung 5.2: COPES-Modell (Winne & Hadwin, 1998, S. 282)

Kognitive Operationen erschaffen interne Produkte (*Products*), die in ihrer Repräsentation transferiert werden können. Kognitive Operationen können auch externalisierte Ergebnisse in Form von Produkten oder beobachtbarem Verhalten generieren. Interne oder externe Produkte werden entweder vom Lernenden selbst oder durch Feedback von außen überprüft und bewertet (*Evaluations*). Ziele des Lernprozesses werden im Modell als *Standards* repräsentiert, die den idealen, optimalen oder befriedigenden Endzustand des Ziels charakterisieren und als Bezugspunkte für das Monitoring fungieren.

Einige der oben vorgestellten Konzeptionen des Lernens durch Gestalten (z. B. Liu, 2003, siehe Tabelle 5.1) zeigen in ihren Schrittfolgen und den darin geförderten Kompetenzen des Gestaltungsprozesses Parallelen zu den Phasen des COPES-Modells. Stahl (2009) hält das COPES-Modell im Hinblick auf Learning by Design für eine sinnvolle Ergänzung zu den oben vorgestellten Schreibprozessmodellen, da es die Aspekte des Strategiewissens besser als die Schreibprozessmodelle erklären kann. Dabei stellt das COPES-Modell die Bedeutung der ersten Schritte der Aufgabeninterpretation und Zielsetzung für Learning by Design heraus, da in diesen Phasen der weitere Verlauf des Gestaltungs- und Lernprozesses entscheidend beeinflusst wird. Wesentlich ist auch, dass das COPES-Modell aus Sicht der Selbstregulation die Bedeutung und den Einfluss des Inhaltswissens und Designwissens auf die kognitiven Operationen und Standards besser erklären kann (S. 246–247).

#### 5.4 Fünf Phasen der Medienproduktion für den Wissenserwerb

Aus den hier dargestellten Modellen der Schreibprozessforschung und des selbstregulativen Lernens und deren Erklärungen für die Wechselwirkungen zwischen inhaltlichem Wissen, Designwissen und Strategiewissen leitet Stahl (2010) für das Lernkonzept von Learning by Design fünf aufeinanderfolgende Phasen ab, die den komplexen Prozess der Medienproduktion strukturieren und auf verschiedene Aspekte der Medienproduktion und der Lerninhalte fokussieren. Deren Anwendung wurde im Rahmen der Gestaltung von Hypertexten und hypermedialen Medienprodukten (vgl. Stahl, 2001; Stahl & Bromme, 2005; Stahl et al., 2006) forschungsbasiert entwickelt und erprobt. Im Folgenden werden die fünf Phasen ausgehend von Stahl (2010, S. 97–100) überblicksartig vorgestellt, um das Konzept in der praktischen Umsetzung im empirischen Teil detaillierter zu beschreiben.

Die fünf Phasen von Learning by Design nach Stahl bauen aufeinander auf und sollen die Aktivierung und Interaktion der oben dargestellten kognitiven Ressourcen und Prozesse anregen.

##### *Phase 1: Grundkonzeption des Medienprodukts*

In der ersten Phase wird das zu erstellende Medienprodukt bezüglich Design und Inhalt in seinen Grundzügen geplant. Dazu benötigen die Lernenden Grundlagenwissen zu den medien-spezifischen Gestaltungsmitteln. So sollte beispielsweise für die Gestaltung von Hypertext basales Wissen über diskontinuierliche Texte, Screen Design sowie Navigation vorhanden sein, damit die Lernenden in eine gemeinsame Planungsphase eintreten können. Mit dem Wissen über Design-Aspekte und deren technischer Umsetzungsmöglichkeiten ist die nötige Grundlage für die

Planung des Medienprodukts gelegt. In der Planungsphase sollte anfangs die inhaltliche Arbeit im Vordergrund stehen. Die Handhabung der Technik bzw. die Einarbeitung in Hard- und Software erfolgt erst dann, wenn die Grundkonzeption des Medienprodukts erarbeitet ist. Bezüglich des COPES-Modells handelt es sich bei der ersten Phase um diejenige Phase, in der die Ziele und Teilziele in Form von Standards festgelegt werden, die handlungsleitend für den weiteren Prozess sind (vgl. Stahl, 2009, S. 251). Wesentlich ist, dass schon in dieser ersten Phase im Sinne der oben vorgestellten Schreibprozessmodelle die für den Gestaltungsprozess nötigen Ressourcen aktiviert werden und im Sinne von knowledge-transforming miteinander interagieren. Der Wissenserwerb durch Learning by Design beginnt also schon in dieser frühen Phase, indem der Inhalt mit Blick auf das zukünftige Medienprodukt und dessen Gestaltung kollaborativ geplant und reflektiert wird.

#### *Phase 2: Erstellung einzelner Inhaltsbausteine*

Ausgehend von den Planungen in Phase 1 werden die Inhalte der einzelnen Bausteine des Medienprodukts (z. B. Informationsknoten bzw. Szenen) inhaltlich und gestalterisch geplant und umgesetzt. Bei der Gestaltung ist zu berücksichtigen, dass jeder einzelne Inhaltsbaustein für sich gut verständlich sein sollte. Wenn an einem umfangreichen, gemeinsam zu erstellenden Medienprodukt gearbeitet wird, ist es sinnvoll, in dieser Phase Teilaspekte des Themas arbeitsteilig zu bearbeiten. In der Planung und Umsetzung der Inhaltsbausteine sollten die Lernenden im Sinne des Lernprozesses möglichst viele Materialien eigenständig erstellen.

#### *Phase 3: Festlegung der Gesamtstruktur*

Wenn die ausgearbeiteten Inhaltsbausteine vorliegen, wird im Rückgriff auf die Planung der Grundkonzeption in Phase 1 die Gesamtstruktur des Medienprodukts festgelegt. Durch die gemeinsame Festlegung und entsprechende Bearbeitung und Reflexion der Inhalte und der Gestaltung wird eine Vertiefung des Verständnisses ermöglicht. Die gemeinsame Ausarbeitung der Inhaltsbausteine zur Gesamtstruktur kann durch Visualisierungen erleichtert werden. Diese Phase bildet auch Basis für Revisionen, da einerseits Rückmeldungen zu den verschiedenen Inhaltsbausteinen gegeben werden und andererseits gemeinsam überprüft wird, ob einzelne Inhaltsbausteine sinnvoll aufeinander bezogen sind.

#### *Phase 4: Multiple Rezeptionsperspektiven*

Nachdem die Gesamtstruktur festgelegt ist, kann die Übernahme verschiedener Rezeptionsperspektiven durch die Lernenden deren Transferwissen fördern. Dies wird beispielsweise dadurch ermöglicht, indem sich die Lernenden in unterschiedliche Nutzer mit verschiedenen Fragehaltungen an das Medienprodukt hineinversetzen. Ein Fachexperte hat zum Inhalt des Medienprodukts andere Erwartungen als ein Laie, der grundlegende oder einführende Informationen zum Thema des Medienprodukts erwartet. Insofern verfolgen unterschiedliche Nutzer bei der Rezeption unterschiedliche Zielsetzungen, die mit den Lernenden erarbeitet und durch entsprechende Elemente in das Medienprodukt eingearbeitet werden.

*Phase 5: Integration der inhaltlichen Bausteine in ein Produkt*

In der letzten Phase werden die zuvor erarbeiteten Überlegungen bewusst umgesetzt und das Medienprodukt durch die Integration der einzelnen Inhaltsbausteine realisiert.

Stahl (2010, S. 100) betont, der Ansatz könne auf verschiedene Medien bezogen und auch entsprechend modifiziert werden. Wichtig sei bei dem Konzept die zentrale Idee, die aktive Auseinandersetzung mit dem Inhalt zu fördern. *„Wesentlich ist, dass in jeder der fünf Phasen die wechselseitige Interaktion zwischen der Reflexion über die darzustellenden Inhalte und dem Design im Vordergrund steht“* (Stahl, 2010, S. 100).

## 6. Fragestellungen des empirischen Teils

### *Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch Learning by Design*

Learning by Design findet, wie oben dargestellt, vor allem seinen Einsatz zur Vermittlung von Wissen und zur Förderung kognitiver Fähigkeiten. In der Physikdidaktik werden vergleichbare Ansätze beim Einsatz von neuen Medien zum Wissenserwerb im Unterricht diskutiert. So fordert zum Beispiel Girwidz (2010b, S. 445), die Nutzer neuer Medien sollten den Schritt vom Konsumenten zum Produzenten gehen, indem sie statt instruktionalem und lehrergesteuertem Lernen zu zielgerichteten Eigenaktivitäten mit Technologien des „Web 2.0“ übergehen oder mit Mapping-Programmen eigene Internetseiten zum Zwecke des inhaltlichen Lernens gestalten. Bei einer solchen Nutzung neuer Medien im Unterricht stehen die drei Dimensionen Fachinhalte, kognitive Prozesse und Interaktion im Vordergrund (S. 439–442). In diesem Sinne fand beispielsweise Learning by Design nach dem Ansatz von Stahl (2010) in der Ausbildung zukünftiger Physiklehrkräfte seine Anwendung, um fachliches Lernen und Wissenserwerb zu initiieren, indem die Studierenden in digitalen Lernportfolios ihre Optikexperimente darstellten und dafür Hypertexte bzw. Hypermedia produzierten (vgl. Mikelskis-Seifert, Stahl, Helmke & Kasper, 2012). Ausgehend von solchen Einsätzen des Learning by Design-Konzepts in der Lehrerbildung werden im Rahmen dieser Arbeit die Möglichkeiten des Einsatzes von Learning by Design in Hochschulveranstaltungen genauer analysiert und evaluiert sowie die Möglichkeiten der Veränderung des Wissenschaftsverständnisses von Lehramtsstudierenden durch Learning by Design erprobt und untersucht.

Learning by Design scheint aus verschiedenen Gründen ein vielversprechender konzeptioneller Ansatz zu sein, um eine Auseinandersetzung von Lernenden mit ihrem Wissenschaftsverständnis zu initiieren und gegebenenfalls eine Veränderung des Wissenschaftsverständnisses zu bewirken. Ausgehend vom Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile scheint es förderlich für die Bildung angemessener epistemischer Urteile und die Entwicklung angemessener epistemischer Überzeugungen, wenn die Lernenden über disziplin- und kontextspezifisches Fachwissen verfügen (vgl. Kapitel 2.1.3 und Kapitel 4.2). Das für das Wissenschaftsverständnis förderliche Wissen, vor allem auch im Sinne des Wissens über Methoden und Theoriebildung in einer Disziplin, kann durch Learning by Design vermittelt werden. Insofern wird die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses in einem Learning by Design-Ansatz auch durch das Lernen fachbezogener Inhalte unterstützt. Dabei bietet der Lernkontext von Learning by Design Bedingungen, die für die Reflexion und Veränderung des Wissenschaftsverständnisses förderlich sind und in den Forschungsfeldern zur persönlichen Epistemologie und Nature of Science als fruchtbar angesehen werden (vgl. Kapitel 2.5.3 und 3.5.3).

Elby und Hammer (2001, S. 564) fordern von Lehrkräften die Schaffung von Lernumgebungen, in denen Lernende die Unterschiede verschiedenen Wissens in unterschiedlichen Kontexten diskutieren können. Sie fordern weiter, Lernkontexte zu schaffen, in denen Lernende verstärkt Aktivitäten der Gestaltung/des Designs nutzen, um epistemische Ressourcen zu aktivieren, die



für das Lernen produktiver sind, als traditioneller Unterricht (vgl. Hammer & Elby, 2002, S. 182). Dass Learning by Design als konstruktivistisch orientiertes Lehr- und Lernkonzept sich als solch eine designorientierte Herangehensweise anbietet, zeigt sich in verschiedenen Gesichtspunkten.

Ein wichtiger Aspekt ist, dass sich die Lehrkraft als „epistemische Autorität“ (siehe oben, S. 31) zurücknimmt. Sie initiiert zwar den Prozess, tritt während der verschiedenen Phasen moderierend auf und leitet methodisch an. Die Lernenden dagegen er- und bearbeiten eigenaktiv die Inhalte und können in der Auseinandersetzung mit dem förderlichen Wissen ihr Wissenschaftsverständnis reflektieren und gegebenenfalls verändern. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit verringert, dass sich das Wissenschaftsverständnis der Lehrenden auf die Lernenden unreflektiert überträgt. Des Weiteren deuten Studien darauf hin, dass konstruktivistisch orientierte Settings, in denen die Lernenden verstärkt in Gruppen arbeiten, Inhalte diskutieren und reflektieren, eher die Anbahnung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses bewirken als traditionelle Lehrmethoden (z. B. Bendixen & Feucht, 2010; Muis & Duffy, 2013). Wenn also Lernende in einem Learning by Design-Ansatz Fachinhalte, die förderlich für das Wissenschaftsverständnis sind, zum Medienprodukt aufbereiten und sich dabei kollaborativ im Sinne des knowledge-transformings und der Selbstregulation mit diesen Inhalten auseinandersetzen, ist anzunehmen, dass einerseits eine intensive Reflexion dieser Inhalte und andererseits eine gemeinsame Auseinandersetzung erfolgt, die Diskussionen und Argumentationen zum Thema mit sich bringen. Bei den Inhalten, die als Medienprodukt aufgearbeitet werden, können durch die Aufgabenstellung Schwerpunkte gesetzt werden, die sich an Ansätzen der Forschung zu Nature of Science und personaler Epistemologie orientieren. So können etwa „multimedial inszenierte Kontroversen“ und/oder historische Fallbeispiele Inhalt eines zu erstellenden Medienprodukts sein, zu denen im kollaborativen Designprozess kritische Debatten geführt werden.

Durch die Themensetzung und den konkreten Arbeitsauftrag, der beispielsweise die Herausarbeitung der NOS-Aspekte der Vorläufigkeit oder der sozialen Einbettung der Naturwissenschaften vorsieht, findet in der Rahmensetzung eines „Learning by Design“-Projekts auch in gewisser Weise eine Einflussnahme des Lehrenden statt, die jedoch aus Sicht der Instruktionspsychologie durchaus sinnvoll erscheint. So spricht sich Mayer (2004) diesbezüglich gegen ein ausschließlich entdeckendes Lernen aus und plädiert stattdessen für solche konstruktivistische Lehrmethoden, die die Prozesse der Informationsselektion und Wissensintegration befördern: *“Pure discovery - even when it involves lots of hands-on activity and large amounts of group discussion - may fail to promote the first cognitive process, namely, selecting relevant incoming information”* (Mayer, 2004, S. 17). Wenn Lernende zu viele Freiheiten haben, bestehe die Gefahr, mit den zu Lernenden Inhalten erst gar nicht in Kontakt zu kommen. Deshalb sollten konstruktivistisch orientierte Ansätze des Lernens so gestaltet sein, dass neben sozialer und praktischer Aktivität vor allem kognitive Aktivitäten im Umgang mit den wesentlichen Inhalten initiiert werden. Übertragen auf den Learning by Design-Ansatz und die Förderung bzw.

Veränderung von Wissenschaftsverständnis kann dies beispielsweise dadurch ermöglicht werden, indem in der Aufgabenstellung zur Erstellung eines Medienprodukts der Fokus implizit oder explizit auf die Herausarbeitung bestimmter NOS-Aspekte eines naturwissenschaftlichen Themas gelegt wird, damit die Lernenden im Sinne Mayers mit den wesentlichen Inhalten in Berührung kommen. Zur Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch Learning by Design könnte eine entsprechende Aufgabenstellung so gestaltet sein, dass Lernende ein Medienprodukt zu einer aktuellen oder wissenschaftsgeschichtlichen, naturwissenschaftlichen Kontroverse gestalten, in der die verschiedenen Positionen der Forschenden gegenübergestellt, diese Positionen in Verbindung mit der Arbeitsweise der Wissenschaftler und dabei die biographischen, subjektiven und soziokulturellen Einflussfaktoren auf die jeweilige Arbeit der Forschenden beleuchtet werden, wodurch sich die Lernenden bei der Erstellung des Medienprodukts mit den entsprechenden NOS-Aspekten auseinandersetzen (Beispiele für mögliche Inhalte aus der Wissenschaftsgeschichte zur Illustration von Schlüsselaspekten der Nature of Science finden sich in Tabelle 3.2 auf Seite 63). Dafür müssten im Design-Prozess verschiedene Informationsquellen herangezogen, beurteilt und ausgewertet werden und gemeinsam erarbeitete inhaltliche Eckpunkte mit Blick auf die Planung des Designs und den Adressaten abgestimmt werden. Dies führt in den unterschiedlichen Phasen von Learning by Design (vgl. Kapitel 5.4) zu verschiedenen Formen der Interaktion der Lernenden. Indem auf Wissen fokussiert wird, das für ein angemessenes Wissenschaftsverständnis förderlich ist, findet eine nach Mayer (2004) sinnvolle Instruktion geführter Entdeckung (*guided discovery*) statt (S. 17), in der lernförderliche und epistemisch sinnvolle Tätigkeiten, wie z. B. Gestaltungsaktivitäten, kooperatives Arbeiten und Diskussionen, mit den relevanten Inhalten initiiert werden.

Learning by Design könnte auch im Hinblick auf die sinnvolle Integration von (neuen) Medien in naturwissenschaftliche Lernprozesse Vorteile bieten. Bezüglich des Medieneinsatzes betont Girwidz (2010a) von naturwissenschaftsdidaktischer Seite die Bedeutung multipler Codierungen externer medialer Repräsentationen für die Entwicklung sinnvoller mentaler Modelle beim Lernen von Physik. An anderer Stelle betont Girwidz die Bedeutung der aktiven, produktionsorientierten Arbeit mit Hilfe multimedialer Technik.

„Ein aktives Arbeiten mit den Inhalten, angeregt durch Verarbeitungsaufgaben und Zielvorgaben, scheint ganz wesentlich zu sein. Mit einfach bedienbaren Computerprogrammen können auch Schüler leicht ihre eigenen Netze entwerfen und ihre Wegweiser durch das Internet legen, die es Lernenden beispielsweise ermöglicht, selbst eigene Netze zu entwerfen.“ (Girwidz, 2010b)

Die beiden genannten Aspekte der Repräsentation und Produktion finden in Learning by Design-Ansatz ihre Anwendung. Zum einen bringt der Lernkontext von Learning by Design vielfältige Möglichkeiten der Auseinandersetzung mit verschiedenen multiplen Repräsentationen mit sich, indem Lernende Medienprodukte zu naturwissenschaftlichen Themen gestalten und beispielsweise mit Bild, Text oder Film aufbereiten. Zum anderen bieten sich bezüglich des Wissenschaftsverständnisses jedoch noch viel tiefergreifende Lernchancen. Im Sinne des

knowledge-transformings müssen Lernende als Designer bei der Medienproduktion auf ihr eigenes Wissenschaftsverständnis zurückgreifen. Sie externalisieren ihre mentalen Modelle und diskutieren diese mit anderen, um gemeinsam ein Medienprodukt zu planen und zu gestalten. In der Auseinandersetzung mit den Lernpartnern und den Informationsmaterialien zum Thema, wie z. B. historischen Fallbeispielen (vgl. Tabelle 3.2 auf Seite 63), Darstellungen von Modellen, biographischen Texten, können bestehende mentale Modelle des Wissenschaftsverständnis im Design-Prozess verändert werden.

Bei der Gestaltung von Medienprodukten in Bildungskontexten stellten bisherige Projekte das Ziel der Anbahnung und Förderung von Medienkompetenz oder, wie in Kapitel 5 dargelegt, die Initiierung von Lernprozessen sowie Wissenserwerb in den Vordergrund (z. B. Carver et al., 1992; Damnik, Hilbig & Proske, 2014; Jonassen, 1995; Liu, 2003; Reimann & Zumbach, 2001; Stahl, Bromme, Stadtler & Jaron, 2007). Es liegen bisher keine Befunde dafür vor, inwiefern sich Medienproduktion zur Anbahnung und Förderung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses eignet. Dies wurde im Rahmen der Hauptstudie dieses Forschungsprojekts untersucht.

Es wird im Rahmen dieser Arbeit davon ausgegangen, dass Learning by Design einen Lernkontext bietet, der dabei hilft, förderliche Momente konstruktivistischen und selbstregulativen Lernens, die für die Reflexion und Veränderung des Wissenschaftsverständnisses vorteilhaft sind, zu realisieren. Ausgehend von diesen Annahmen zum Einsatz von Learning by Design zur Veränderung des Wissenschaftsverständnisses ergeben sich die folgenden leitenden Fragestellungen für den empirischen Teil dieser Arbeit:

- a) Lässt sich das Wissenschaftsverständnis von Studierenden durch eine Intervention auf Grundlage des Learning by Design-Ansatzes verändern?
- b) Wie verändert sich das Wissenschaftsverständnis in einem Learning by Design Ansatz?
- c) Welche Auswirkungen hat die Intervention bei Laien und Experten? Welche Rolle spielt dabei das Inhaltswissen?

Um die übergeordneten Fragestellungen dieses Forschungsprojekts zu beantworten, wurden im Vorfeld der Hauptstudie mehrere Vorstudien durchgeführt. Im Folgenden wird erläuternd auf die Fragestellungen dieser Studien eingegangen. Die konkreten Fragestellungen finden sich dann in den jeweiligen Kapiteln dieser Arbeit.

#### *Zu den Fragestellungen der explorativen Studie*

Zentrales Anliegen dieser Arbeit ist die Untersuchung der Auswirkungen einer Intervention auf das Wissenschaftsverständnis von Lehramtsstudierenden. Die Intervention basiert auf dem didaktischen Konzept von Learning by Design. Zunächst wurde in einer Hochschulveranstaltung eine qualitative Studie mit explorativem Charakter durchgeführt, die der Entwicklung und Überprüfung der Interventionsmaßnahme bezüglich der zu behandelnden Inhalte und der Rahmenbedingungen diente.

In dieser ersten explorativen Studie standen zum einen organisatorische Fragen, wie z. B. nach der Umsetzung von Learning by Design in physikalischen Fachräumen oder nach dem zeitlichen Rahmen, im Vordergrund. Zum anderen wurde die Ausgestaltung der Learning by Design-Phasen (vgl. Kapitel 5.4) im Hinblick auf die für die Veränderung von Wissenschaftsverständnis wesentlichen inhaltlichen und instruktionalen Aspekte erprobt. Die konkreten Fragestellungen der explorativen Studie finden sich in Kapitel 7.2.

*Zu den Fragestellungen bezüglich der Erhebung und Analyse des Wissenschaftsverständnisses*

Im Anschluss an die explorative Studie, in der die Interventionsmaßnahme erprobt wurde, wurden Studien zur Entwicklung und Pilotierung eines Instruments zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik durchgeführt. Die Fragestellungen bezogen sich zum einen auf die Pilotierung und Evaluation des Erhebungsinstruments und zum anderen auf die Analyse des Wissenschaftsverständnisses von angehenden und praktizierenden Lehrkräften.

Ausgehend von dem heuristischen Modell von Wissenschaftsverständnis, das die naturwissenschaftliche und die psychologische Perspektive integriert (siehe S. 75), ergeben sich Fragen, die sich auf die Aktivierung und Interaktion kognitiver Elemente bei der Bildung epistemischer Urteile beziehen. Zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses wurde ein Erhebungsinstrument entwickelt, das nach ersten Erprobungen in einer Pilotstudie zum Einsatz kam und im Anschluss evaluiert wurde.

Die in der Pilotierung erhobenen Daten wurden genutzt, um das Wissenschaftsverständnis zukünftiger und ausgebildeter Lehrkräfte und die Aktivierung verschiedener kognitiver Elemente bei der Bildung epistemischer Urteile zu untersuchen. Im Ansatz der generativen Natur epistemischer Urteile wird davon ausgegangen, dass die Bildung epistemischer Urteile nicht nur disziplinspezifisch, sondern auch kontext- bzw. themenspezifisch sind (vgl. Kapitel 2.1.3). Durch entsprechende Gestaltung des Erhebungsinstruments soll es ermöglicht werden, Unterschiede zwischen disziplin- und kontextspezifischen epistemischen Urteilen zu analysieren. Des Weiteren wird in dem Ansatz davon ausgegangen, dass der Bildung epistemischer Urteile hochflexible kognitive Prozesse zugrunde liegen, bei der je nach Kontext verschiedene Elemente in Form von Fachwissen, Annahmen zur Ontologie und stabileren, disziplinunabhängigen epistemischen Überzeugungen aktiviert werden. Die Auswirkungen unterschiedlichen disziplin- und kontextspezifischen Fachwissens auf die Bildung epistemischer Urteile wurden sowohl im Rahmen der Pilotstudie (Kapitel 9) als auch im Rahmen der Hauptstudie (Kapitel 10) untersucht. Die konkreten Fragestellungen finden sich in den jeweiligen Kapiteln.

## 7. Qualitative Studie zur Entwicklung und Analyse der Interventionsmaßnahme

### *Zusammenfassung*

Im Rahmen einer explorativen, qualitativen Studie erstellten Lehramtsstudierende in einer physikdidaktischen Hochschulveranstaltung ein hypermediales Medienprodukt zum Thema „Licht bei Huygens, Newton und Einstein“. Im Produktionsprozess setzten sich die Studierenden mit unterschiedlichen Modellen von Licht, der Kontroverse zwischen Huygens und Newton (Licht als Welle – Licht als Teilchen), den soziokulturellen Einflüssen der jeweiligen Zeit und den kreativen und subjektiven Elementen der jeweiligen Herangehensweisen der Forscher auseinander. Durch die inhaltliche Aufbereitung, der kreativen Ausgestaltung und der hypermediale Vernetzung thematisch passender Knoten, bearbeiteten die Studierenden Inhalte, die Bezüge zu verschiedenen Aspekten der Nature of Science haben.

In Vorbereitung, Durchführung und Evaluation der Veranstaltung wurden Fragestellungen bezüglich Inhalt, Organisation und Durchführung der Interventionsmaßnahme für die Hauptstudie verfolgt.

Bei der abschließenden Evaluation der Interventionsmaßnahme wurde deutlich, dass das didaktische Konzept „Learning by Design“ bei den Studierenden eine hohe Akzeptanz erfuhr. Neben dem Kompetenzerwerb in der Wissensdomäne schätzte der überwiegende Teil der Studierenden auch den Erwerb an Medienkompetenz als hoch ein. Ebenso sahen die Studierenden eine hohe Relevanz im didaktischen Konzept „Learning by Design“ für die zukünftige Tätigkeit als Lehrer/in. Bis auf ein/e Teilnehmer/in konnten sich alle (zumindest teilweise) vorstellen, Learning by Design im eigenen Physikunterricht einzusetzen.

### 7.1 Einleitung

Wesentliches Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Veränderung von Wissenschaftsverständnis im Rahmen einer Intervention auf Basis des Learning by Design-Ansatzes. Ausgehend von der in Kapitel 5 dargelegten Konzeption von Learning by Design wird im Folgenden die Explorationsstudie dargestellt, in der Aspekte zur Förderung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses (vgl. Kapitel 2.5.3 und 3.5.3) eingearbeitet wurden und aus der sich Erkenntnisse bezüglich der Ausgestaltung der Intervention der Hauptstudie ableiten lassen. Zunächst werden anschließend die Fragestellungen der Studie dargelegt, um danach die fachwissenschaftliche Analyse der Inhalte der Intervention zu schildern. Nach der Darstellung von Methode und Stichprobe erfolgen Überlegungen zu Planung und Vorbereitung der Maßnahme, Durchführung der Intervention und der Bericht der Ergebnisse, sowie eine Auswertung der Maßnahme.

## 7.2 Fragestellung

Bei der Erkundung der Interventionsmaßnahme stehen inhaltliche, instruktionelle und organisatorische Fragen bezüglich methodischer Umsetzungen von Learning by Design in einem Physik-Seminar im Vordergrund. Bei Planung und Durchführung der Maßnahme wurde darauf geachtet, dass nicht zu eng vorgegangen wird, um im Prozess auf die Ideen und Anregungen der Studierenden eingehen zu können. Wesentlich für die Planungen der Intervention der Hauptstudie war die Erkundung folgender Aspekte.

### *Inhalt*

- Eignen sich die eingesetzten Inhalte für die Erarbeitung in einem Learning by Design-Ansatz im Rahmen einer Hochschulveranstaltung?
- Wie schätzen die Studierenden die Erarbeitung der Inhalte und das fachliche Lernen in einem Learning by Design-Ansatz ein?
- Wie sollten die Learning by Design-Phasen (vgl. Kapitel 5.4) und die dazugehörigen Instruktionen gestaltet sein, damit die Studierenden sich mit für das Wissenschaftsverständnis förderlichem Wissen vertieft auseinandersetzen?
- Über welche technischen Kompetenzen verfügen die Studierenden und welche müssen für die Durchführung der Intervention im Vorfeld vermittelt werden?

### *Organisation*

- Wie viel Zeit wird für die Erstellung eines Medienprodukts im Rahmen eines Physik-Seminars benötigt?
- Welche räumliche und technische Ausstattung steht für die Hauptstudie für die Medienproduktion zur Verfügung und erscheint als sinnvoll?

## 7.3 Ausgestaltung von Learning by Design in einer Hochschulveranstaltung der Physik zur Förderung des Wissenschaftsverständnisses

In diesem Unterkapitel werden Aspekte vorgestellt, die Bestandteile der konkreten Ausgestaltung der explorativen Phase waren und zur Interventionsmaßnahme der Hauptstudie führten.

Zunächst wird dargestellt, wie aus einem Projekt zur multimedialen Förderung des Wissenschaftsverständnisses (vgl. Mikelskis, 2006, 2010) das mediale Format und die Inhalte für Learning by Design im Rahmen dieser Arbeit abgeleitet wurden. Danach schließt sich eine ausführliche Darstellung des in der Intervention behandelten Themas aus wissenschaftshistorischer Perspektive an, um danach verschiedene NOS-Aspekte des Themas zu beleuchten. Abschließend werden Überlegungen zur formatspezifischen Gestaltung des Medienprodukts dargestellt.

### 7.3.1 Ein hypermediales Medienprodukt zum Thema „Was ist das Wesen von Licht? – Entwicklung der Theorie von Licht“

Ausgangspunkt für die inhaltliche Planung der Explorationsstudie waren Erkenntnisse zum Umgang mit wissenschaftshistorischen Fallbeispielen und wissenschaftlichen Kontroversen (vgl. Kapitel 3.5.3) zur Förderung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses. Diesbezüglich berichtet Mikelskis (2010) von einer Studie, in der zukünftigen Physiklehrkräften fiktionale Dialoge der Kontroversen zwischen Goethe und Newton, sowie Huygens und Newton in einer multimedialen Lernumgebung dargeboten wurden. Die multimediale Aufbereitung der dialogischen und narrativen Elemente der Kontroversen hatte das Ziel, Physik und die Genese physikalischen Wissens als einen lebendigen Prozess darzustellen und so das Interesse der Studierenden für diese Aspekte zu wecken. In den multimedial aufbereiteten Inhalten zu den Kontroversen kommen die Naturforscher in fiktiven Dialogen zu Wort, in denen sie ihre Positionen, Sichtweisen, Theorien und Vorgehensweisen plastisch darlegen. Die Darstellungen werden durch historische Abbildungen und Portraits der Forscher sowie von ihren Skizzen zu den Experimenten konkretisiert.

Im Sinne von Jonassen (1995), der davon ausgeht, dass im Design- und Entwicklungsprozess solchen Lernmaterials vor allem die Designer und weniger die Lernenden profitieren, entwickelte sich im Rahmen dieses Promotionsprojekts die Idee, ausgehend von der Studie Mikelskis eine solche multimediale Lernumgebung in einem Learning by Design-Ansatz durch Physikstudierende entwickeln zu lassen. Geplant war, die Studierenden ein hypermediales Medienprodukt erstellen zu lassen, bei dem die verschiedenen Positionen der Kontroverse multimedial aufgearbeitet und durch Hyperlinks aufeinander bezogen werden. Dieser Ansatz erschien auch im Hinblick auf die zeitlichen und technischen Ressourcen eines Physikseminars als sinnvoll und realisierbar.

### 7.3.2 Theoretischer Hintergrund des Themas der Interventionsmaßnahme: Die Natur des Lichts aus wissenschaftshistorischer Perspektive

Licht als Quelle des Lebens hat schon früh die Aufmerksamkeit des Menschen auf sich gezogen. Dabei interessierte schon Naturphilosophen des Altertums, von welcher Natur Licht ist. Demokrit spricht im Zusammenhang seiner atomistischen Vorstellungen von Lichtatomen, wohingegen Aristoteles von einer besonderen Bewegung durch Erregung des Durchsichtigen ausgeht. Hier deuten sich in einer ersten Form die Konzepte einer Wellen- bzw. Korpuskeltheorie an, die bei der Frage nach der Natur des Lichts später intensiv diskutiert wurden und sich zumindest für eine gewisse Zeit scheinbar unvereinbar gegenüber standen (vgl. Kuhn, 2001, S. 268).

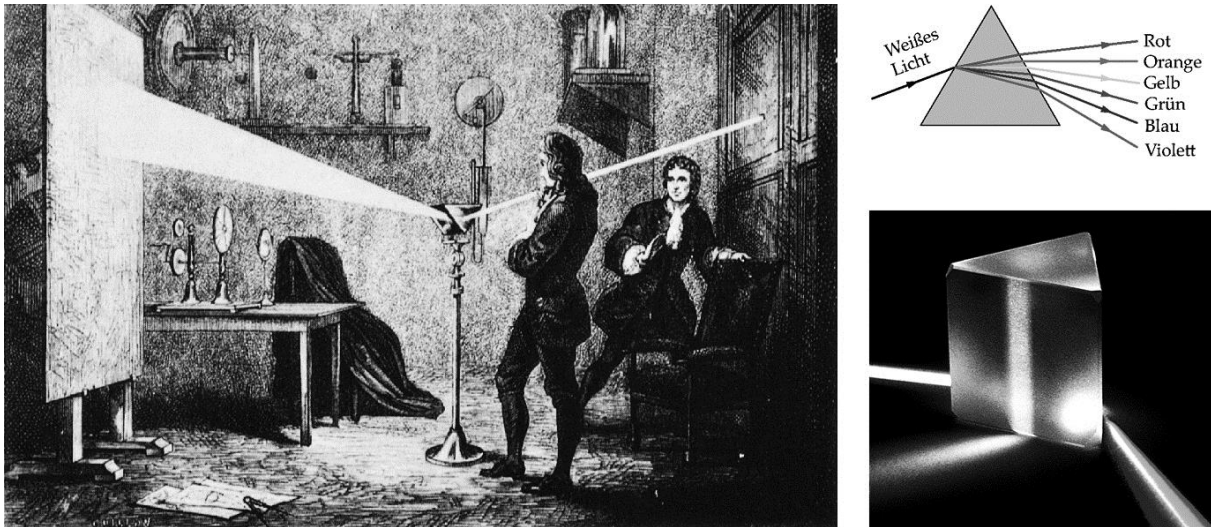
Zu Beginn des 17. Jahrhunderts untersuchte der Mathematikprofessor Snellius die Brechung von Lichtstrahlen beim Übergang von einem in das andere Medium, z. B. von Luft nach Wasser. 1621 entdeckte er dabei das Brechungsgesetz. Bekannt wurde das Gesetz jedoch erst durch

Descartes, der das Brechungsgesetz und andere optische Erscheinungen, wie die Reflexion, damit erklärte, dass Licht aus kleinen Partikeln besteht, die geradeaus fliegen und an Oberflächen abprallen und dadurch reflektiert werden. Die Brechung des Lichts im Übergang von Luft nach Wasser erklärte er so, als würden kleine Kügelchen ein dünnes Tuch durchschlagen und dadurch gebremst und abgelenkt. Der italienische Mathematiker Grimaldi hatte zur gleichen Zeit die Vorstellung, Licht bestehe aus Wellen. Er schloss das unter anderem aus seiner Beobachtung, dass Schatten immer etwas größer sind, als dies bei der geradlinigen Ausbreitung von Licht überhaupt möglich sei (vgl. Röthlein, 2004, S. 12–13). Christian Huygens, ein zu seiner Zeit populärer niederländischer Gelehrter und Naturforscher, griff die Annahmen Grimaldis später auf. Für ihn war die hohe Geschwindigkeit von Licht der Grund, weshalb er den Teilchencharakter des Lichts ausschloss und in der Ausbreitung von Licht vielmehr Parallelen zur Ausbreitung von Schallwellen erkannte. Licht habe eine so hohe Geschwindigkeit, dass die Übertragung von Licht durch Materie nicht so schnell sein kann ...

„wie etwa ein Geschoss oder ein Pfeil die Luft durchfliegt. Es muss sich demnach auf eine andere Weise ausbreiten, und gerade die Kenntnis, welche wir von der Fortpflanzung des Schalles in der Luft besitzen, kann uns dazu führen, sie zu verstehen.“  
(Huygens, 1690, zit. nach Röthlein, 2004, S. 14)

Newton (1643–1727) dagegen hatte die Vorstellung, Licht sei ein Strom kleinster Teilchen. Er vertrat damit die Korpuskeltheorie. Ursprünglich hatte er kein Interesse an der Frage nach der Beschaffenheit des Lichts. Sein Interesse galt vielmehr der Astronomie. Er stellte jedoch bei der Beobachtung des Himmels durch ein Fernrohr mit mehreren Linsen fest, dass an den Rändern des durch das Fernrohr vergrößerten Sichtfelds „Nebeneffekte“ in Form von farbigen und verzerrten Bildern entstanden. Dies motivierte Newton einerseits zur Entwicklung des Spiegelteleskops, das frei von solchen Effekten war und andererseits zur intensiveren Auseinandersetzung mit der Natur des Lichts (vgl. Röthlein, 2004, S. 15). Insgesamt führte er diesbezüglich 33 verschiedene Experimente durch (vgl. Kuhn, 2001, S. 270). Von diesen 33 Experimenten gelten zwei als die Wesentlichen. Das ausschlaggebende Instrument für die Untersuchung der Natur des Lichts war das Prisma. Durch ein Loch im Fensterladen ließ Newton Sonnenlicht auf ein Prisma in seinem verdunkelten Arbeitszimmer fallen (Abbildung 7.1). Das Sonnenlicht wurde so auf eine im Abstand von etwa sieben Metern befindliche Wand gelenkt. Bei einem kleineren Abstand zwischen Prisma und Projektionsfläche erscheint auf der Fläche, ähnlich wie im Linsenteleskop, ein rundes Loch mit farbigen Rändern. Durch den großen Abstand in Newtons Experiment war als Abbild der Lochblende ein langgezogenes Oval mit den nebeneinander befindlichen Spektralfarben zu sehen. Das weiße Sonnenlicht war so in seine einzelnen farbigen Bestandteile zerlegt. Für Newton war das der Beweis dafür, dass weißes Licht kein unzerlegbares Grundphänomen ist.



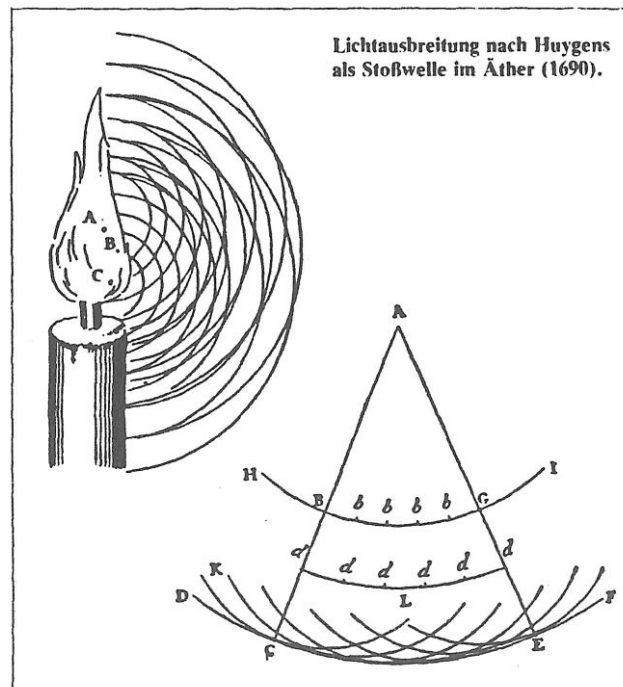


**Abbildung 7.1:** Newtons Experiment zur Untersuchung der Natur des Lichts (Abbildungen aus Tipler & Mosca, 2012)

Eine Bestätigung für diese Annahme sah Newton im von ihm benannten Entscheidungsexperiment („experimentum crucis“). Hinter das erste Prisma brachte er eine schmale Blende an, durch die er einzelne Strahlen des Spektrums kontrolliert auf ein zweites Prisma lenkte. Durch das zweite Prisma wurden die Strahlen zwar gebrochen, aber nicht weiter aufgespalten. Die Ergebnisse des Entscheidungsexperiments bestätigten Newtons Standpunkt, Licht bestehe aus farbigen Bestandteilen unterschiedlicher Brechbarkeit (vgl. Kuhn, 2001, S. 273–274). Ganz kam Newton im Rahmen der Korpuskulartheorie in seinen Erklärungen jedoch nicht um die Idee eines wellenartigen Charakters des Lichts herum (vgl. Kuhn, 2001, S. 273–274). Dies gilt vor allem für das Phänomen des Auftretens von Farben an dünnen Schichten, wie z. B. bei Ölfilmen auf Wasser. Er ging bei solchen Phänomenen davon aus, der Lichtstrahl einer bestimmten Farbe werde an bestimmten Stellen reflektiert, wohingegen an anderen Stellen der Lichtstrahl die Luftschicht durchdringt. Dies führte er auf periodische Eigenschaften des Lichts zurück, die dem Licht mal mehr und mal weniger gut den Durchgang durch ein Medium ermögliche (Kuhn, 2001, S. 273–274). Newtons Vorstellungen von Licht beinhalteten demnach Ansätze einer wellenartigen Natur. Er gab aber trotzdem der Teilchenvorstellung letztendlich den Vorzug (vgl. Rössler, 2009, S. 185).

Christiaan Huygens (1629–1695), der zu seiner Zeit ein angesehener und selbstbewusster Naturforscher und Gelehrter war, kritisierte einige von Newtons Texten zur Optik, da sie seinen Vorstellungen von der Natur des Lichts widersprachen (vgl. Röthlein, 2004, S. 15). Huygens Vorstellung von Licht, die er in Analogie zur Ausbreitung des Schalls sah, wird häufig als Wellentheorie benannt, die Newtons Vorstellung diametral gegenüber stand. Huygens lehnte zwar die Vorstellung von Licht als kleinste Teilchen ab, sprach selbst aber nicht explizit von Wellen. Vielmehr ging er bei der Ausbreitung von Licht von einer Fortpflanzung einer Gleichgewichtsstörung aus. In der Kontroverse, ob Licht materiellen Charakter habe oder ein Zustand und dessen Veränderung sei, nahm Huygens die Position ein, Licht sei die Bewegung eines fein verteilten Trägermediums, dem „Lichtäther“. Huygens stellte sich vor, vom Zentrum einer Lichtquelle gehen schnell bewegte Partikel aus, die gegen Teilchen des Lichtäthers stoßen.

Diese Impulse breiten sich um die Lichtquelle kugelförmig aus. Die elastischen Teilchen des Äthers verändern ihre Position im Raum dabei nicht. Sie geben lediglich die Impulse an andere Lichtätherteilchen weiter (vgl. Kuhn, 2001, S. 274).



**Abbildung 7.2:** Lichtausbreitung nach Huygens als Stoßwelle im Äther (aus Kuhn, 2001, S. 275)

Diese Art der Ausbreitung des Lichts wird *Huygenssches Prinzip* genannt. Nach dem Huygensschen Prinzip wird jeder Ätherpartikel, der von einem Stoß getroffen wird, selbst zu einer Lichtquelle und gibt wiederum selbst Impulse an die benachbarten Ätherpartikel weiter. Jeder Punkt einer Störungsfront wird nach dem Huygensschen Prinzip zum Mittelpunkt einer sich in alle Richtungen ausbreitenden Elementarwelle, die wieder eine neue Wellenfront bildet (vgl. Kuhn, 2001, S. 275). In der Vorstellung Huygens durchdringt der Lichtäther alle Materie. Wenn beispielsweise Licht Glas durchdringt, müssen nach Huygens die Impulse des Äthers um die Materieteilchen des Glaskörpers herum weiter gegeben werden und so Umwege nehmen. Auf diese Art erklärt Huygens die Brechung von Licht (vgl. Röthlein, 2004, S. 14).

Die unterschiedlichen Ansichten zur Natur des Lichts führten zu einer erbitterten Kontroverse zwischen Newton und Huygens. Nachdem Newton die Kritik Huygens' zu einigen seiner Abhandlungen las, folgten daraus für Newton typische Wutausbrüche und eine hartnäckige Ablehnung Huygens und seiner Theorie (vgl. Röthlein, 2004, S. 15).

Newtons wissenschaftliche Autorität und sein Einfluss in der Scientific Community führten fürs Erste zum Siegeszug der Korpuskulartheorie. Huygens sowie andere Vertreter der Wellentheorie hatten das Nachsehen (vgl. Maalampi, 2008, S. 22). Der Streit um die Natur des Lichts entzweite viele Gelehrte über Generationen hinweg, wobei die Auseinandersetzungen nicht immer fair ausgetragen wurden und den wissenschaftlichen Gesellschaften dabei keine rühmliche Rolle zukam (vgl. Röthlein, 2004, S. 15).

Um Newtons Erkenntnisse zur Beschaffenheit von Licht entbrannte eine weitere Kontroverse, die jedoch nicht zu Lebzeiten Newtons ausgetragen wurde. Es war Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832), der in seiner Farbenlehre Newton stark kritisierte. In der Erstausgabe erschien das Werk *Zur Farbenlehre* im Jahre 1810 und wurde von Goethe selbst höher eingeschätzt als sein gesamtes poetisches Schaffen (vgl. Schüller, 1999, S. 62). Im *Polemischen Teil* ging Goethe ausführlich auf das Buch I von Newtons *Opticks* ein und ließ dabei nichts Gutes an Newtons experimenteller Vorgehensweise und seinen Folgerungen, da er Newtons Ansatz für verfehlt hielt (S. 62–63). Goethe wiederholte auch Newtons klassisches Experiment, nutzte dabei aber einen beweglichen Schirm, um den Abstand zwischen Prisma und Schirm verändern zu können (S. 64).

Newton ging in *Opticks* davon aus, er formuliere keine Hypothesen, sondern strenge Folgerungen. Mit ablehnender Haltung ging Goethe auf diese deduktive Vorgehensweise im posthum veröffentlichten Text *Analyse und Synthese* ein, in dem er kritisiert, Newton würde von einem gekünstelten Experiment ausgehend eine Hypothese formulieren und daraus alle erdenklichen Phänomene erklären (vgl. Schüller, 1999, S. 65).

Goethe interessierte sich vor allem dafür, wie das menschliche Auge und der Verstand Farben empfinden. Er untersuchte dabei auch die Mischung von farbigen Pigmenten auf Papier. Er fand über die Wahrnehmung von Schatten heraus, dass diese die Komplementärfarbe eines beleuchteten Gegenstandes anzunehmen scheinen. Der von Goethe entwickelte Farbkreis ist auch heute noch in künstlerischen und gestalterischen Disziplinen in Gebrauch (vgl. Baker, 2009, S. 59).

Goethes Argumentation gegen Newton bezog sich vor allem auf dessen Methodologie, die aus Goethes Sicht stark die Ergebnisse beeinflusst (vgl. Carrier, 1981, S. 210). So stellte Goethe fest, die Brechung von Licht alleine bringe noch keine Farben hervor. Evidenz für diese Aussage sah er darin, dass man beim Blick durch ein Prisma auf eine gleichmäßig gefärbte Fläche keine unterschiedlichen Farben sieht (S. 210).

„Dies ist auch in der Newtonschen Theorie durch Überlagerung der Spektralfarben verständlich, aber Goethe musste auf diesen Punkt besonderen Wert legen, da es ihm darauf ankam zu zeigen, dass nicht aus dem Licht, sondern aus den besonderen Bedingungen, die ihm entgegengestellt werden, die Farberscheinungen resultieren“ (Carrier, 1981, S. 210).

Goethes Kritik zielt also darauf ab, dem Licht werden aufgrund der besonderen experimentellen Bedingungen bestimmte Eigenschaften aufgezwungen. In Goethes Erklärungen kommen die Farben nicht durch die Brechung zustande. Vielmehr bringt er zur Erklärung des Phänomens die Physiologie des Sehens ins Spiel. Das von ihm beobachtete Phänomen des Simultankontrasts (vgl. Birbaumer & Schmidt, 2010, S. 379–380), das aus Sicht der heutigen Forschung durch die unterschiedliche Aktivierung und Interaktion von Neuronen auf der Retina entsteht, verstand Goethe als die Ursache für die Entstehung von Nebenbildern beim Betrachten eines

Spalts durch ein Prisma (vgl. Carrier, 1981, S. 212). Auch wenn Goethes Erklärungen der Entstehung von Farben beim Durchgang von Licht durch ein Prisma nicht durchgehend konsistent sind, sind sie doch bedeutsam, da die prismatischen Farben nicht wie bei Newton als vollkommen objektive Erscheinung aufgefasst werden, „sondern dass sie eine starke physiologische, wenn man so will subjektive Komponente haben“ (Carrier, 1981, S. 212). Goethe hielt es für nutzlos, wie Newton die Natur durch formale Strukturen zu bändigen. Abbildungen, Wortbeschreibungen, Maß, Zahl und Zeit stellten für Goethe keine Repräsentationen von Phänomenen, sondern nutzlose und schädliche Begrifflichkeiten dar (vgl. Carrier, 1981, S. 216). Theorien sollten nach Goethe repräsentiert sein durch eine Fülle analoger Fälle, die das Gemeinsame zum Urphänomen aufzeigen (S. 217). Dies kann aus heutiger wissenschaftstheoretischer Sicht als eine Absage an die empiristische Illusion einer unvoreingenommenen Neutralität der Daten angesehen werden. Goethe sah die Problematik in Newtons Methodologie darin, dass Newton das Licht durch die experimentellen Bedingungen in die „Enge“ treibt. Auch empfand er es als problematisch, wenn Newton behauptete, diese Bedingungen hätten keine Auswirkungen auf die Ergebnisse (S. 218). Goethe kritisierte, Newton hielte die Apparaturen für notwendig, um das Einfache des Lichts hervorzubringen. Nach Goethes Meinung sei jedoch das Gegenteil der Fall. Monochromatisches Licht, welches als Spektralfarbe in Newtons Versuchen entstand, sei das Gegenteil von einfach. Es sei das Ergebnis eines komplexen Wechselspiels physikalischer und physiologischer Voraussetzungen (vgl. Carrier, 1981, S. 220). Die Natur sollte sich bei Goethe aus eigenem Antrieb und unter natürlichen Bedingungen offenbaren. Er hatte eine kritische Haltung gegenüber Technik und Experimentalphysik und beobachtete natürliche Erscheinung am liebsten im Freien bei Tageslicht, da er die Beobachtungen als schöner und bedeutsamer empfand (vgl. Carrier, 1981, S. 223).

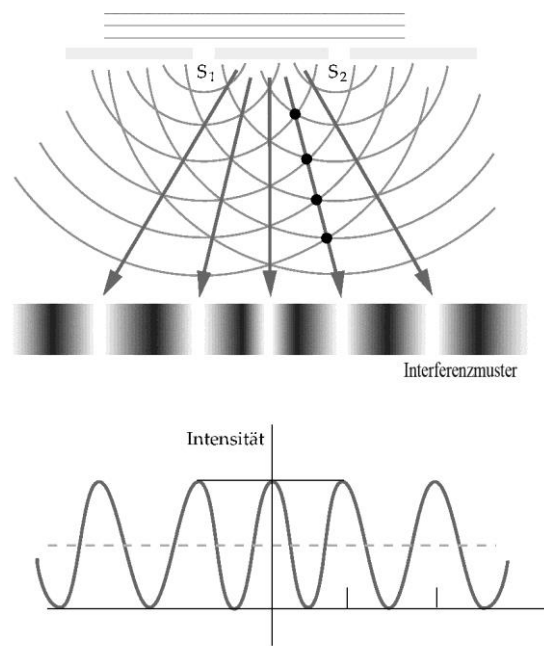
Goethes Farbenlehre sorgte unter Wissenschaftlern für große Aufregung, galt als handfester Wissenschaftsskandal und wird auch heute noch von vielen Physikern abgelehnt (vgl. Schüller, 1999, S. 62). Das liegt auch daran, weil Goethe im polemischen Teil seiner Farbenlehre versuchte, Newton, ohne ihm jemals begegnet zu sein, charakterlich schlecht darzustellen und ihn mit allen Mitteln zu diskreditieren (vgl. Röthlein, 2004, S. 169). Dies wird deutlich, wenn man folgende Äußerung Goethes über Newton liest:

„Wir behaupten, er sei als Mensch, als Beobachter in einen Irrtum gefallen und habe als Mann von Charakter, als Sektenhaupt, seine Beharrlichkeit eben dadurch am kräftigsten bestätigt, dass er diesen Irrtum trotz allen äußeren und inneren Warnungen bis ans Ende fest behauptet, ja immer mehr bearbeitet und sich bemüht, ihn auszubreiten, ihn zu befestigen und gegen alle Angriffe zu schützen“ (Goethe, 1998, zit. nach Röthlein, 2004, S. 17).

Im Allgemeinen hatten und haben Physiker ihre Probleme mit Goethes Farbenlehre (vgl. Carrier, 1981, S. 209). Sein Ansatz wurde jedoch auch von einigen Physikern honoriert. Ebenso hat Goethes Kritik an Newtons Vorgehensweise wissenschaftstheoretische Bedeutung. Helm-

holtz war einer der ersten Physiker, der trotz seiner ersten Ablehnung, durch eigene Forschungen zur Physiologie des Sehens eine positive Haltung zu Goethes Theorie entwickelte und ihn als Naturforscher rehabilitierte. Im Laufe der Zeit waren auch andere Physiker bereit, alternative wissenschaftstheoretische Ansätze zu akzeptieren (vgl. Schüller, 1999, S. 62). Aus heutiger Sicht erscheint einiges an Goethes Newton-Kritik modern. Goethe erkennt in Newtons scheinbar objektiver Forschung die Theoriegebundenheit, wenn er schreibt: „*Im Wissen wie im Handeln entscheidet das Vorurteil alles, und das Vorurteil wie sein Name wohl bezeichnet, ist ein Urteil vor der Untersuchung*“ (zit. nach Schüller, 1999, S. 65). Newtons Optik ist eben nicht reine Erfahrung, sondern beginnt mit Definitionen und Axiomen, aus denen Lehrsätze abgeleitet werden (vgl. Carrier, 1981, S. 220). Auch die Kritik an Newtons Methodologie beinhaltet ein für die damalige Zeit zukunftsweisendes Element. Goethe erkannte die Bedeutung der Messapparatur für die Theoriebildung (vgl. Carrier, 1981, S. 209). Er erfasste die Wichtigkeit von Beobachtungstheorien und berücksichtigte die Physiologie des Sehens als Apparatekunde (vgl. Carrier, 1981, S. 219). Neben den wissenschaftstheoretischen Aspekten ist Goethes Farbenlehre auch deshalb heute noch von Bedeutung, da sie als Grundlage der physiologischen Farbenlehre gilt (vgl. Schüller, 1999, S. 66).

Wie schon weiter oben erwähnt, erfuhr die Korpuskulartheorie Newtons für eine lange Zeit große Zustimmung, was mitunter mit Newtons Autorität und Einfluss zu tun hatte. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts, also etwa 100 Jahre nach Newtons Tod, begann dann der Siegeszug der Wellentheorie des Lichts. Ausschlaggebend dafür waren vor allem Thomas Young (1773–1829) und Augustin Jean Fresnel (1788–1829). Ausgehend von der Beobachtung, dass sich beim Aufeinandertreffen zweier Wasserwellen diese überlagern und sich dabei Maxima durch Wellenberg auf Wellenberg und Wellental auf Wellental sowie Minima durch Wellental auf Wellenberg bilden, fragte sich Young, ob dies nicht auch bei Licht zu beobachten wäre, wenn Licht eine Welle sei. Young erdachte 1817 eine Methode, um dies zu überprüfen (vgl. Röhlein, 2004, S. 19). Er schickte Licht durch zwei schmale, dicht nebeneinander liegende Spalte (in Abbildung 7.3 als  $S_1$  und  $S_2$ ) und sorgte so mit seinem berühmten Doppelspalt-Versuch für Aufsehen. Auf der Wand hinter dem Doppelspalt waren nicht die Abbildungen des Doppelspalts in Form von zwei hellen Streifen zu sehen, sondern es zeigte sich ein Muster aus vielen hellen und dunklen Streifen. Es handelte sich dabei um ein Interferenzmuster (siehe Abbildung 7.3), das im Ergebnis den Maxima und Minima beim Aufeinandertreffen von Wasserwellen entspricht. Das Interferenzmuster ist der Hinweis für den Wellencharakter von Licht. Zudem entdeckte Young, dass es sich bei Licht um Transversalwellen handelt. Transversalwellen breiten sich im Unterschied zu Schallwellen (Longitudinalwellen) quer zur Ausbreitungsrichtung aus (vgl. Maalampi, 2008, S. 23). Young und andere Vertreter der Wellentheorie konnten ihre Zeitgenossen jedoch nicht gänzlich von der Wellentheorie überzeugen. Einerseits konnten sich viele nicht vorstellen, dass sich Newton geirrt hat. Und andererseits hielten viele Forscher die Erklärung, das Zusammentreffen zweier Lichtbündel führe zur Entstehung von Dunkelheit, für amüsant (vgl. Maalampi, 2008, S. 24).



**Abbildung 7.3:** Thomas Youngs Doppelspaltversuch, bei dem zwei enge parallele Spalte ( $S_1$  und  $S_2$ ) als kohärente Lichtquellen dienten (aus Tipler & Mosca, 2012, S. 1324)

Der letztendliche Durchbruch der Wellentheorie erfolgte aufgrund der Arbeiten von Fresnel aus den Jahren 1816 bis 1821. Young lieferte die Grundidee der Interferenz von Transversalwellen und Fresnel lieferte das dazu passende mathematische Konzept. Fresnel selbst wiederholte Youngs Experimente und verbesserte sie zum Teil. Zur Untersuchung von Interferenzerscheinungen entwickelte Fresnel ein Interferometer, mit dem das Lichtbündel aufgespalten und wieder zusammengeführt werden konnte. Die Teilbündel sind dabei unterschiedliche Wege gegangen. Mit seinen *Fresnelschen Formeln* konnten Aussagen über die Brechung und Reflexion an Grenzflächen gemacht werden. Ebenso wie Huygens ging Fresnel von einem Äther aus, in dem sich Transversalwellen mechanisch ausbreiten (vgl. Kuhn, 2001, S. 284–286).

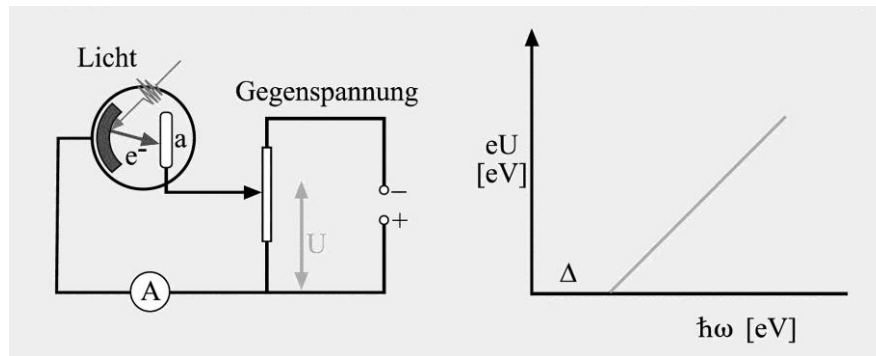
Der Ätherbegriff bezog sich bei Huygens und Fresnel immer auf Licht und nicht auf elektromagnetische Phänomene. Wirbel und Kraftlinien, die im 19. Jahrhundert mathematisch beschreibbar wurden, benötigten in der Theorie ebenso ein Trägermedium, den elektromagnetischen Äther. Nach einiger Zeit war man sicher, es müsse sich beim Äther des Lichts um den gleichen Äther handeln wie beim Elektromagnetismus. In seinem späteren Werk hatte Faraday beim Äther nicht die Vorstellung von Partikeln, sondern von einer Art Feldtheorie der Materie (vgl. Welsch, Schwab & Liebmann, 2013, S. 87–88).

James Clark Maxwell fasste Licht erstmalig als elektromagnetische Welle auf. 1865 stellte Maxwell in seinem Werk „A dynamical theory of the electromagnetic field“ fest, Licht und Elektromagnetismus hätten sehr viel mehr gemeinsam, als bisher angenommen. Eine Welle, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, hängt nach Maxwell mit den elektromagnetischen Feldern und nicht mit dem Äther zusammen. Diese Wellenbewegung habe außer der Lichtgeschwindigkeit auch noch andere Eigenschaften des Lichts. Daraus schloss er, Licht sei eine

elektromagnetische Welle (vgl. Maalampi, 2008, S. 25). Nach dem Siegeszug der Korpuskulartheorie des Lichts im 18. Jahrhundert war nun in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Wellentheorie überaus erfolgreich. Viele der mit Licht zusammenhängenden Phänomene, wie z. B. Reflexion, Streuung, Beugung, Polarisierung und Interferenz können bis heute mit der Wellennatur des Lichts befriedigend beschrieben und erklärt werden (vgl. Demtröder, 2009, S. 354–355). Heinrich Hertz konnte Maxwells Vermutung, Licht sei nichts anderes als eine elektromagnetische Welle, experimentell bestätigen, indem er die von Licht bekannten Eigenschaften, wie Reflexion, Brechung, Streuung usw. auch bei anderen elektromagnetischen Wellen nachweisen konnte.

Hertz beobachtete ein weiteres Phänomen, welches als Ausgangspunkt für das heutige Verständnis von der Natur des Lichts wesentlich ist. Er beobachtete, wie zwischen zwei Elektroden, die mit ultraviolettem Licht bestrahlt wurden, ein Funke leichter übersprang, als wenn die Elektroden nicht bestrahlt wurden. Es machte den Anschein, als wäre die Luft leitfähiger, wenn sie dem ultravioletten Licht ausgesetzt war. Dies deutete darauf hin, dass durch die Bestrahlung Elektroden freigesetzt werden oder Ionen entstehen. Philipp Lenard untersuchte dieses Phänomen im Jahr 1900 ausführlich. Er konnte feststellen, dass das Licht in der Lage war, aus Metall Elektronen herauszuschlagen. Es handelte sich um den sogenannten *photoelektrischen Effekt*. Lenard konnte den Zusammenhang der kinetischen Energie der aus dem Metall austretenden Elektronen von der Frequenz des einfallenden Lichts nachweisen (vgl. Rössler, 2009, S. 186). Diese Entdeckung ist für die Geschichte der Quantenphysik besonders bedeutsam, da erstmalig der Zusammenhang zwischen Energie und Frequenz elektromagnetischer Strahlung bestimmt werden konnte (vgl. Povh, 2011, S. 222). Abbildung 7.4 zeigt die schematische Darstellung einer modernen Versuchs- und Messapparatur zum photoelektrischen Effekt.

Beim klassischen Versuch wird eine Metallplatte mit Licht verschiedener Frequenzen bestrahlt. Aufgrund der Bestrahlung treten aus der Platte Elektronen aus, die nur dann die Anode ( $a$ ) erreichen, wenn sie die negative Gegenspannung  $U$  überwinden. Für die kinetische Energie der Elektronen gilt also:  $E_e > e \cdot U$ . Erreicht die Gegenspannung einen kritischen Wert, misst der Strommesser  $A$  keinen Anodenstrom mehr. Je höher die Frequenz des Lichts, umso höher ist auch die kritische Gegenspannung. Das zeigt, dass die Energie der Elektronen  $E_e$  von der Frequenz des Lichts abhängt.



**Abbildung 7.4:** Schematische Darstellung der Messapparatur zum Nachweis des photoelektrischen Effekts (aus Povh, B. (2011). Anschauliche Physik. Für Naturwissenschaftler. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 222)

Das Problem zu Beginn des 20. Jahrhunderts bestand nun darin, dass das beobachtete Phänomen des photoelektrischen Effekts und die Zusammenhänge zwischen der Frequenz des Lichts, seiner Intensität und der Entladung des Metalls durch Austritt der Elektronen nicht mit der Natur des Lichts als elektromagnetische Wellen zu erklären war. Je stärker die oszillierenden magnetischen und elektrischen Felder des Lichts, umso heller das Licht. Deshalb ging man davon aus, helleres, also intensiveres Licht würde viel eher zum Herausschlagen der Elektronen aus den Metallatomen führen. Die Elektronen sollten eine höhere kinetische Energie haben, je stärker die oszillierenden Felder des Lichts auf sie einwirken. Dies war aber nicht der Fall. Unabhängig von der Helligkeit des Lichts wurden die Elektronen erst dann herausgeschlagen, wenn eine bestimmte Wellenlänge unterschritten wurde, wenn das Licht also eine höhere Frequenz hatte. Die kinetische Energie der Elektronen hing demnach von der Wellenlänge des Lichts ab.

Die Erklärung des photoelektrischen Effekts kam Albert Einstein im Jahr 1905 zu. Er erhielt dafür im Jahr 1921 den Nobelpreis. In seiner Erklärung griff Einstein Erkenntnisse Max Plancks auf. Dieser vermutete um die Jahrhundertwende einen Zusammenhang zwischen Temperatur und der Wellenlänge der emittierten Strahlung. Er ging davon aus, dass je nach Temperatur Körper Strahlung mit einer bestimmten Wellenlänge aussenden. Je höher die Temperatur desto geringer die Wellenlänge bzw. desto größer die Frequenz. Planck fand eine rein mathematische Lösung für das Problem, indem er davon ausging, die Strahlung werde nicht kontinuierlich, sondern in extrem kleinen Energiepaketen ausgestrahlt. Er nannte diese Energiepakete Quanten. Zur mathematischen Beschreibung führte Planck das Wirkungsquantum  $h$  ( $= 6,6257 \cdot 10^{-34} \text{ [Js]}$ ) ein, mit dem er seine Beobachtungen am sogenannten Schwarzkörper mathematisch beschreiben konnte. Die berühmte Formel Max Plancks

$$E = h \cdot f$$

beschreibt den Zusammenhang zwischen der Frequenz des Lichts und der kinetischen Energie der austretenden Elektronen beim photoelektrischen Effekt unter Einbezug des Planck'schen Wirkungsquantums  $h$ .



Einsteins entscheidender und mutiger Schritt war,  $h$  nicht nur als Energieportion zu sehen. Vielmehr schrieb er Licht aufgrund der Übertragung in gequantelten Energiepaketen Teilchencharakter zu (vgl. Welsch et al., 2013, S. 104). Der photoelektrische Effekt war nun problemlos erklärbar, wenn man Licht nicht mehr als Welle begriff, sondern mehr als 200 Jahren nach Newton wieder von Licht als Teilchen, den Photonen, ausging. Beim Photoeffekt erhält das einzelne Elektron einen von der Frequenz des einstrahlenden Lichtes abhängigen Energiebeitrag. Je höher die Frequenz ist, desto größer ist dieser Energiebeitrag. Die Intensität des Lichtes bestimmt die Anzahl der beim Photoeffekt emittierten Elektronen. Maalampi (2008) bezeichnet folgenden Satz Einsteins als wichtigsten aus der Perspektive der Geschichte der Physik und als mutmaßlichen Anfang der Quantenphysik:

„Nach der hier ins Auge zu fassenden Annahme ist bei Ausbreitung eines von einem Punkte ausgehenden Lichtstrahles die Energie nicht kontinuierlich auf größer und größer werdende Räume verteilt, sondern es besteht dieselbe aus einer endlichen Zahl von in Raumpunkten lokalisierten Energiequanten, welche sich bewegen, ohne sich zu teilen und nur als Ganze absorbiert und erzeugt werden können“ (Einstein, 1905, S. 133).

Das Licht hat also außer seinen Welleneigenschaften, die sich in Beugung, Interferenz und Polarisation zeigen, auch gleichzeitig Teilcheneigenschaften, die sich besonders bei seiner Emission und Absorption zeigen. Es handelt sich bei diesen Eigenschaften des Lichts um den Welle-Teilchen-Dualismus. Durch die Lichtwelle werden die Photonen verbreitet und bei der Wechselwirkung mit Materie werden immer ganze Photonen erzeugt oder vernichtet (vgl. Gerthsen & Meschede, 2010, S. 676). Robert Millikan, der Einsteins Erklärung äußerst skeptisch gegenüberstand und ihn durch eine Reihe von Experimenten widerlegen wollte, musste 1916 zugeben, Einstein habe Recht. Durch Millikans Experimente wurde nicht nur Einstein Recht gegeben, sie gaben den Wert der Planck'schen Konstante mit hoher Genauigkeit wieder (vgl. Maalampi, 2008, S. 111). Man kann nicht sagen, Licht sei mal Welle, mal Teilchen. Es ist beides gleichzeitig. Dem Alltagsverstand ist der Welle-Teilchen-Dualismus deshalb komplett gegenläufig. Auf die Frage, was Licht sei, antwortete der Physiker Richard Feynman, Licht sei weder Welle noch Teilchen, sondern etwas Drittes. Dieses Dritte sei das Konzept einer ganz neuen Physik, der Quantenphysik (vgl. Kuhn, 2001, S. 407). Insofern stellt die jahrhundertlange Kontroverse über die Natur des Lichts, die im Paradigma der klassischen Physik geführt wurde, in ihren Ansätzen eine Vorwegnahme der Erkenntnisse der modernen Physik dar.

### 7.3.3 Nature of Science-Aspekte des Themas

Der wissenschaftshistorische Blick auf die Entwicklung unseres heutigen Wissens über die Natur des Lichts beinhaltet verschiedenen Aspekte, die sich für die Auseinandersetzung mit der Natur der Naturwissenschaften eignen. Wenn sich Lernende medienproduktiv mit dem Thema auseinandersetzen, beschäftigen sie sich mit Wissen, das für die Bildung angemessener epistemischer Urteile förderlich ist. Durch die Offenheit des Learning by Design-Ansatzes ist es durchaus möglich, dass nicht alle NOS-Aspekte gleichermaßen von den Lernenden bearbeitet

werden bzw. dass die Lern- bzw. Designgemeinschaft in der Planung des Medienprodukts einzelne Aspekte stärker als andere betont. Im Folgenden dienen die NOS-Aspekte von Lederman et al. und weitere Aspekte (vgl. Matthews, 2012) als Grundlage für die Analyse der NOS-Anteile des oben fachwissenschaftlich analysierten Themas.

### *Beobachten und Schlussfolgern*

Die generationenübergreifende Forschung zur Natur des Lichts zeigt deutlich den Unterschied zwischen den Tätigkeiten des Beobachtens und des folgernden Schließens. Gerade die Kontroversen zwischen Newton und Huygens sowie Newton und Goethe zeigen exemplarisch, wie ausgehend von denselben Beobachtungen unterschiedliche Schlüsse gezogen werden können. Über die Beschreibung der beobachteten Phänomene wie z. B. Reflexion, Beugung und Brechung war relativ einfach Konsens zu erreichen. Die Schlussfolgerungen, die aus den Beobachtungen abgeleitet wurden, gehen über den sinnlichen Zugang jedoch hinaus und führen zu unterschiedlichen Modellen und Theorien. Die kontroversen Auseinandersetzungen zur Natur des Lichts hätten nicht stattgefunden, hätten die Forscher nicht verschiedene Schlüsse aus den beobachtbaren Phänomenen gezogen.

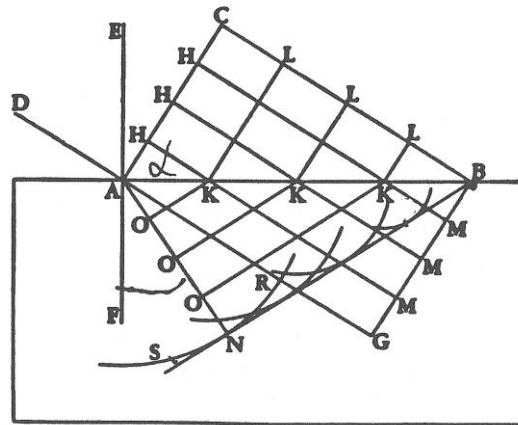
### *Gesetze und Theorien*

Die Unterscheidung zwischen Gesetzen und Theorien hängt zusammen mit der Unterscheidung zwischen Beobachtungen und Schlussfolgerungen. Durch die Beobachtung verschiedener Phänomene, die aufgrund der Natur des Lichts auftreten, wurden im Laufe der Wissenschaftsgeschichte verschiedene Gesetze abgeleitet, die zum Teil mathematisch beschrieben werden können. Dazu gehört beispielsweise das Snellius'sche Brechungsgesetz, das die Beobachtung der Ablenkung des Lichtstrahls im Übergang zwischen zwei Medien wie folgt beschreibt:

$$\frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Mit dieser Formel lässt sich die Richtungsänderung des Lichts beim Übergang zwischen den Medien berechnen. Dabei stehen  $n_1$  und  $n_2$  für verschiedene Brechungsindizes der Materialien. In der mathematischen Darstellung des Phänomens wird der beschreibende Charakter von Gesetzen deutlich. Diese Beschreibung verrät jedoch nichts über die Ursache oder den Grund der Brechung von Licht. Die Erklärung des beobachtbaren und durch das Gesetz beschreibbaren Verhaltens von Licht kommt der Theorie bzw. verschiedener konkurrierender Theorien zu. Descartes, der wie oben erwähnt, schon vor Newton von einer Teilchengestalt des Lichts ausgeht, erklärt die Brechung so, als würden kleine Kügelchen ein Tuch durchschlagen und deshalb abgelenkt werden. Huygens dagegen erklärt die Brechung mit Hilfe von Elementarwellen unter Anwendung des Huygensschen Prinzips (siehe Abbildung 7.5). Huygens konnte anhand des Huygensschen Prinzips das Brechungsgesetz herleiten.

Durch diese Beispiele wird das Verhältnis zwischen Gesetz und Theorie konkretisiert. Das Gesetz ist die Beschreibung des Phänomens, das durch die Theorie erklärt wird. Es wird hier deutlich, dass die häufig anzutreffende Vorstellung, aus Theorien würden mit zunehmender Evidenz allmählich Gesetze, unangemessen ist.



**Abbildung 7.5:** Anwendung des Huygensschen Prinzips zur Erklärung des Brechungsgesetzes (Originalzeichnung Huygens aus Kuhn (2001, S. 277))

Ferner wird an dem hier dargestellten Beispiel deutlich, wie für die Herleitung eines Gesetzes und dessen mathematischer Beschreibung ein gewisses Ausmaß an Vorstellungskraft nötig ist. In der Physik ist ein Gesetz nicht einfach etwas Vorgegebenes, sondern etwas vom Menschen „Gesetztes“ (vgl. Römer, 1999, S. 221). Dies berührt auch den folgenden Aspekt der kreativen Natur der Naturwissenschaften und wird durch das folgende Zitat deutlich: „Außerdem werden Naturgesetze nicht so einfach in der Natur vorgefunden wie ein Goldklumpen von einem Goldsucher. Ihre Auffindung ist eine schöpferische geistige Leistung auf höchstem Niveau, und deutlich sichtbar tragen Naturgesetze oft den persönlichen Stempel ihres Entdeckers“ (Römer, 1999, S. 220).

### *Kreativität und Vorstellungskraft*

Eine Auseinandersetzung mit der Erforschung der Natur des Lichts aus wissenschaftshistorischer Perspektive kann dabei helfen, der landläufigen Vorstellung, die Naturwissenschaften seien eine leblose und durchgängig rationale Unternehmung, entgegen zu wirken. Gerade bei der Betrachtung der Vorgehensweisen solcher Forscherpersönlichkeiten wie Newton, Huygens, Goethe oder Einstein wird deutlich, welch große Vorstellungskraft und Kreativität im gesamten Forschungsprozess nötig sind. Von der Entwicklung der Beobachtungs- und Messapparaturen, über die Formulierung von Hypothesen, der Modellierung von Konzepten, der Interpretation von Beobachtungs- und Messergebnissen bis hin zur anschaulichen Vermittlung der Forschungsergebnisse ist Vorstellungskraft und Kreativität eine Grundvoraussetzung für die Forschung, ohne die kein wissenschaftlicher Fortschritt möglich wäre. Gerade die Leistung bei der Interpretation des photoelektrischen Effekts, die als wesentlicher Schritt hin zur Quantenphysik

zählt, unterstreicht Einsteins kreatives und hellichtiges Genie, da zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine solche Interpretation entgegen aller gängigen Lehrmeinungen stand und den Paradigmenwechsel von der klassischen zur modernen Physik einleitete.

### *Subjektivität und Theoriegebundenheit*

Die Kontroversen um die Natur des Lichts beleuchtet auch diesen Aspekt der Nature of Science gut, da die persönlichen Überzeugungen, das Vorwissen der Forscher, ihre theoretischen Bindungen und ihre Erfahrungen sowie ihre Erwartungen Einfluss auf ihr Schaffen und ihre Erkenntnisse haben. Newton, der zwar proklamierte, seine Erkenntnisse zur Natur des Lichts seien ganz objektiv hergeleitet, wird in diesem Punkt stark von Goethe kritisiert, der von der Voreingenommenheit Newtons überzeugt war (vgl. dazu vorangegangenes Kapitel). Selbiges gilt natürlich auch für Goethes Überzeugung, bei weißem Licht handle es sich um das Urphänomen, welches durch Newtons Apparaturen in „die Ecke getrieben wird“. Auch die Grundüberzeugungen, Licht als Welle oder Teilchen zu sehen, beeinflusst die Art wie die Phänomene beobachtet bzw. die Ergebnisse interpretiert wurden. Aus heutiger erkenntnistheoretischer Warte verdeutlicht die Kontroverse zwischen Newton und Goethe exemplarisch, wie wenig sich Protagonisten einer Theorie bzw. eines Paradigmas durch widersprechende Ergebnisse leichtfertig von ihrer Theorie abbringen lassen. Die Bedeutung von Fakten entwickelt sich bei beiden auf dem Hintergrund ihrer jeweiligen theoretischen Konzeptionen (vgl. Carrier, 1981, S. 215).

„Obwohl Goethe gewisse Schwierigkeiten ausdrücklich zugesteht (...), erschüttern diese keineswegs den Glauben an die Richtigkeit seiner Theorie. Völlig im Sinne Kuhns ist Goethe der Meinung, es werde sich schon irgendwie richten (...). Eine Falsifikation findet eben nicht statt, auch dann nicht, wenn potentielle Falsifikatoren vorliegen.“ (Carrier, 1981, S. 215).

Ein gewichtiger Aspekt, der in den Bereich der Subjektivität und Theoriegebundenheit hinein spielt, ist der soziokulturelle Rahmen, in dem der Forscher als Subjekt und die Naturwissenschaft als Ganzes eingebettet ist. Die Kontroverse um die Natur des Lichts zeigt auf, inwiefern soziokulturelle Aspekte den Erfolg von Theorien beeinflussen. Die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen in europäischen Staaten zu Beginn der Aufklärung begünstigten die Forschungstätigkeiten von Wissenschaftlern wie Huygens und Newton gleichermaßen. Beide waren angesehene Persönlichkeiten, deren Arbeit international respektiert wurde. Insofern waren die gesellschaftlichen Bedingungen deutlich besser als noch 100 Jahre zuvor, als neue wissenschaftliche Erkenntnisse den Anfeindungen der Kirche ausgesetzt waren und Wissenschaftler wie Galilei ihren Überzeugungen offiziell abschwören mussten oder sogar durch die Inquisition der Ketzerei, wie z. B. Giordano Bruno, bezichtigt und auf dem Scheiterhaufen verbrannt wurden. In den Kontroversen zur Natur des Lichts wird ein anderer soziokultureller Faktor deutlich, der die Erfolgsaussichten von Theorien mindert oder begünstigt. In diesem Fall war es der große Einfluss Newtons in der damaligen Scientific Community, der den Erfolg der Korpuskulartheorie beförderte. Aufgrund seiner Leistungen als Wissenschaftler, aber auch aufgrund seiner bedeu-

tenden Stellung in der Royal Society, von der er ab 1703 Präsident war, erhielt auch seine Theorie von Licht große Zustimmung. „*Sein Wort war Gesetz und auch in Kontinentaleuropa war sein Einfluss groß, so dass Huygens und andere Befürworter der Wellentheorie mit ihren Ideen ins Hintertreffen gerieten*“ (Maalampi, 2008, S. 22). Dieser Umstand zeigt exemplarisch, wie der Erfolg von Theorien und die entsprechende Verbreitung von Wissen nicht alleine von Objektivität und Evidenz abhängt, sondern auch von wissenschaftlichem Kapital, das in der Scientific Community zusammenhängt mit wissenschaftlicher Autorität und Erfolg. Diese Zusammenhänge gelten auch heute noch und werden sozialwissenschaftlich erforscht (z. B. Fuhrin, 2013).

„Man muss unterscheiden, ob jemand eine hohe Position bekleidet oder oft zitiert wird, wichtigen Vereinen vorsitzt oder Forschungsgruppen leitet. Daran lässt sich das wissenschaftliche Kapital in institutionelle Macht, wissenschaftliche Autorität, wissenschaftliches Prestige und intellektuelle Macht aufteilen. Natürlich kann ein und dieselbe Person auch mehrere Arten von wissenschaftlichem Kapital sammeln.“ (Fuhrin, 2013, S. 113).

#### *Vorläufigkeit*

Die Entwicklung der heutigen Theorie von Licht über mehrere Jahrhunderte hinweg veranschaulicht, wie sich Theorien mit der Zeit entwickeln, verändern, beeinflussen, widersprechen, verdrängen oder auch ergänzen. Stellvertretend für jegliche Theorie in den (Natur-) Wissenschaften wird deutlich, wie zu verschiedenen Zeitpunkten der Wissenschaftsgeschichte immer wieder davon ausgegangen wurde, man habe die letztendlichen Antworten bzw. Erklärungen gefunden, bis sich dann doch neue Erklärungen in Form veränderter oder neuer Theorien etablierten. In den allerersten Jahren des 20. Jahrhunderts schien die Physik als Wissenschaft „ausgereizt“, da keine neuen bahnbrechenden Erkenntnisse zu erwarten waren. So stellte der Physiker Albert A. Michelson, erster amerikanischer Physik-Nobelpreisträger, im Jahre 1903 fest:

„Die wichtigsten Grundgesetze und Grundtatsachen der Physik sind alle schon entdeckt, und diese haben sich bis jetzt so fest bewährt, dass die Möglichkeit, sie wegen neuer Entdeckungen beiseite zu schieben, außerordentlich fern zu liegen scheint ... Unsere künftigen Entdeckungen müssen wir in den 6. Dezimalstellen suchen.“ (Michelson, 1903 zit. nach Welsch et al., 2013, S. 103)

Nur zwei Jahre später konterkarierte Albert Einstein, zu diesem Zeitpunkt Angestellter des Patentamts Bern, mit seiner Erklärung des photoelektrischen Effekts Michelsons Annahme und leitete den Paradigmenwechsel von der klassischen zur modernen Physik ein.

#### *Mythos der naturwissenschaftlichen Methode*

Aus wissenschaftsgeschichtlicher Perspektive lässt sich bezüglich der Erforschung der Natur des Lichts erkennen, wie die verschiedenen Forscher ganz unterschiedliche methodische Herangehensweisen nutzten. Sie folgten nicht einer typischen Step-by-Step-Methode, wie es häufig als stereotype Vorstellung bei Lernenden und Lehrenden vorzufinden ist (siehe Kapitel 3.5.1).

Die Erkenntnisse, die sich aus den Arbeiten der verschiedenen Forscher ergeben, gründen auf ganz unterschiedlichen Herangehensweisen. So untersuchte Newton unter Laborbedingungen das Licht und erreichte seine Erkenntnisse dadurch, dass er ein natürliches Phänomen anhand von Apparaturen in seine Bestandteile zerlegte. Goethe verfolgte dagegen einen ganzheitlichen, fast schon phänomenologischen Ansatz. Einstein wiederum ging als theoretischer Physiker einen anderen Weg, indem er aus den Erkenntnissen von Generationen von Physikern neue Schlüsse zog und diese Schlussfolgerungen mathematisch herleitete und untermauerte.

#### *Modelle und Modellierung*

Dieser Aspekt ist zwar kein separater Punkt im Konzept von Lederman und Kollegen (2002, 2007), wird aber in anderen Veröffentlichungen als solcher thematisiert (z. B. Matthews, 2012; Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004). Es bestehen Zusammenhänge zum NOS-Aspekt *Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle*.

Anhand der Entwicklung der Theorie von Licht wird der Unterschied zwischen Erfahrungswelt und Modellwelt (vgl. Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004) immer wieder aus wissenschaftshistorischer Perspektive exemplarisch aufgezeigt. Sowohl bei der Vorstellung von Licht als Teilchen als auch bei der Vorstellung als Welle handelt es sich um Modellierungen, die nicht mit der beobachtbaren Welt gleich gesetzt werden dürfen. Die Konzeptualisierungen von Licht der verschiedenen Forscher und ihren Erklärungen auf Basis ihrer Modellierungen können wissenschaftshistorischer Ausgangspunkt für die Thematisierung von Problemen der Modellbildung sein.

#### 7.3.4 Überlegungen zur Gestaltung eines hypermedialen Medienprodukts im Rahmen des Learning by Design-Ansatzes

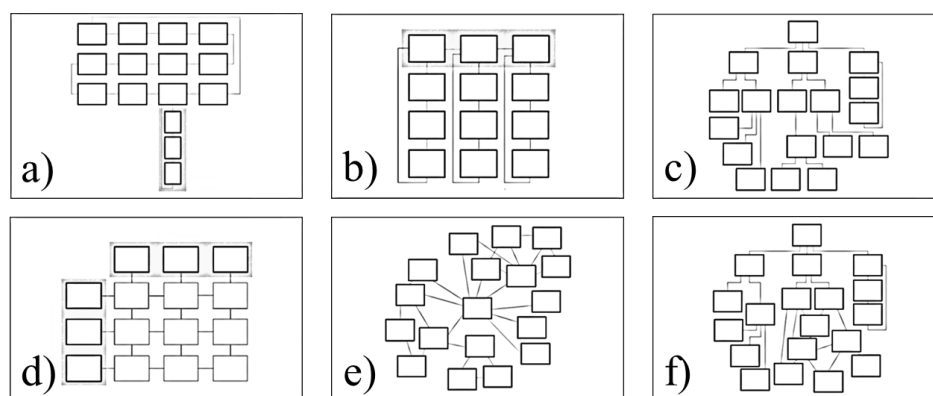
Wie unter 5.3 dargestellt, bedarf es zur Initiierung von Lernprozessen im Rahmen des Learning by Design-Ansatzes nach Stahl (2009, 2010) Grundwissen über die typischen Gestaltungsmittel des jeweiligen Medienprodukts, damit die Lernenden im Sinne des knowledge-transforming-Prozesses Wissen erwerben können. Darüber hinaus benötigen die Studierenden auch grundlegende technische Bedienkompetenzen im Umgang mit Software zur Erstellung von Hypertext bzw. Hypermedia. Nachfolgend finden sich Überlegungen bezüglich dieser beiden Aspekte, die im Rahmen der Exploration der Interventionsmaßnahme berücksichtigt wurden.

Stahl und Bromme (2005) gehen davon aus, dass „knowledge transforming“-Prozesse (vgl. Kapitel 5.3) bei der Erstellung von Hypertexten gefördert werden, „wenn die Lerner das Design der einzelnen Knoten, der Links und der Gesamtstruktur der Hypertexte in kontinuierlicher Interaktion mit ihrem Verständnis der inhaltlichen Konzepte, der semantischen Relationen und der Gesamtstruktur des Themas entwickeln“ (Stahl & Bromme, 2005, S. 215). Neben einem grundlegenden Vorwissen zum Thema benötigen die Lernenden entsprechende Kenntnisse über die medienspezifischen Gestaltungsmittel, von denen im vorangegangenen Zitat schon einige genannt wurden. Es ist notwendig, dass die Lernenden schon zu Beginn der ersten Phase von

Learning by Design Grundkenntnisse über die Gestaltungsmittel des zu erstellenden Medienprodukts verfügen, um überhaupt in die Planung bzw. in den „knowledge transforming“-Prozess einsteigen zu können. Insofern ist es sinnvoll, noch vor Beginn der Arbeit mit dem Thema die nötigen Grundkenntnisse zu vermitteln, um auch in der Lerngruppe eine gemeinsame Basis für die Verständigung über das zu erstellende Medienprodukt sicherzustellen. Es ist davon auszugehen, dass alle Studierende über grundlegende Erfahrungen im Umgang mit Hypertext in der Rolle der Rezipienten verfügen und dass sie zu Beginn des Learning by Design-Vorhabens auf dieses Vorwissen zurück greifen können (vgl. Stahl & Bromme, 2005, S. 216). Zu diesem Grundlagenwissen erscheint es zusätzlich als zweckmäßig, bestimmte Begriffe zu klären, die in der Produktionsphase genutzt werden können. Folgende basalen Bestandteile eines Hypertexts und die dazugehörigen Begrifflichkeiten wurden zu Beginn der explorativen Projektphase vorgestellt:

- **Knoten:** autonome, abgeschlossene Einheit, die eine bestimmte Information mit Hilfe unterschiedlicher medialer Darstellungen präsentiert
- **Kante** (Hyperlink): verbindet zwei Informationseinheiten (Knoten) miteinander
- **Anker:** die hervorgehobenen Stellen eines Knotens, die die Verbindung zu einem anderen Knoten markieren (vgl. Thissen, 2003, S. 22).

Weitere zu klärende Aspekte des Screen-Designs bezüglich der Gestaltung der Informationseinheiten bzw. Knoten, beziehen sich auf grundlegende Kenntnisse zur Bildschirm-Typographie, Layout, Text- und Informationsmenge, die die Lesbarkeit betreffen. Weitere typische Gestaltungselemente eines Hypertextes beziehen sich auf die Struktur des gesamten Hypertexts und die dazugehörige Navigation. Die Studierenden lernen exemplarisch verschiedene Sitestrukturmodelle, wie z. B. Linearstruktur, Leiterstruktur, Baumstruktur und Netzstruktur, und deren Aufbau kennen (vgl. Hammer & Bensmann, 2009, S. 165–170).



**Abbildung 7.6:** Verschiedene Sitestrukturmodelle: a) Linearstruktur, b) Leiterstruktur, c) Baumstruktur, d) Matrixstruktur, e) Netzstruktur, f) Mischform; Abbildungen aus Hammer und Bensmann (2009)

Häufig besteht auf Websites ein Zusammenhang zwischen dem zugrunde liegenden Sitestrukturmodell und der Metapher des Hypertexts. Unter Metaphern versteht man in der Mensch-Maschine-Kommunikation aus dem Alltag entlehnte Gegenstände, die in einer grafischen Be-

nutzeroberfläche ihre Anwendung finden, um die Bedienung von Betriebssystemen und Anwendungen zu erleichtern. Beispielsweise sind Metaphern rund um den Schreibtisch populär (z. B. Desktop, Papierkorb, Ordner usw.) (vgl. Alexander, 2013, S. 252; Böhringer, Bühler & Schlaich, 2011, S. 541).

Für die Navigation in einem Hypertext repräsentieren Metaphern meist nicht nur eine einzige Funktion, sondern ein ganzes Nutzungskonzept (vgl. Bromme & Stahl, 2005). Beispielsweise dient eine Buch-Metapher dazu, den Nutzer buchartig und linear durch die Inhalte zu navigieren und die Inhalte entsprechend darzustellen. Aufeinanderfolgende Inhalte sind beispielsweise durch Umblättern zu erreichen und Lesezeichen markieren ausgewählte Informationen (vgl. Dahm, 2006, S. 230–232). Metaphern sind für die Planung und Umsetzung eines Medienprodukts im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes in zweierlei Hinsicht von Bedeutung. Zum einen ist der Gebrauch von Metaphern für die Kommunikation über das zu erstellende Medienprodukt durch den Aufbau konkreter Vorstellungen gerade in der Planungsphase für die Lernenden wichtig und beeinflusst die inhaltliche Aufteilung des Themas und die Darbietungsform (vgl. Stahl, 2009, S. 250–251). Zum anderen bestehen Zusammenhänge zwischen der genutzten Metapher und dem durch Learning by Design erzielten Lernergebnis. Hypertexte mit einer Buchmetapher sind eher durch eine Linearstruktur (siehe Abbildung 7.6) gekennzeichnet und entsprechend weniger komplex, wohingegen Hypertexte mit einer Raum-Metapher eher über eine Netzstruktur verfügen und entsprechend komplexer sind. Dies begünstigt den „knowledge transforming“ Prozess im Umgang mit komplexen Themen, da eine lernförderliche Interaktion zwischen komplexen Inhalten und komplexer Textstruktur ermöglicht wird (vgl. Stahl, 2001, S. 163).

Ein weiterer Aspekt bei der Gestaltung von Hypertexten ist die Berücksichtigung verschiedener Leserperspektiven. Genauso wie bei einem linearen Text Wissen über den Adressaten beim Schreibenden vorhanden sein muss, sollte dies auch beim Schreiben von Hypertexten berücksichtigt werden. Stahl et al. (2007) kommen durch ihre Studien zu dem Ergebnis, die Berücksichtigung mehrerer Adressaten-Perspektiven sei ein angemessener Weg, um mit der nonlinearen Struktur von Hypertexten umzugehen (S. 307). Dies kann bei der Gestaltung und Produktion von Hypertexten dadurch erreicht werden, indem entweder verschiedene Interessen der angesprochenen Leserinnen und Leser berücksichtigt und angesprochen werden (vgl. Stahl et al., 2007, S. 309; Thissen, 2003, S. 32–39) oder, dass beispielsweise für Anfänger Einstiegshilfen und für Experten Indizes für den Überblick in den Hypertext integriert werden (vgl. Thissen, 2003, S. 59).

Bezüglich der Software, die in einem Learning by Design-Ansatz zur Erstellung eines Hypertexts genutzt wird, ist festzustellen, dass sich nicht nur mit professionellen Programmen, wie z. B. Dreamweaver, sondern auch mit bekannten Office-Programmen wie Word, Frontpage und Powerpoint sowie Open-Source-Anwendungen wie Kompozer oder Impress Hypertexte erstellen lassen. Komplexere Anwendungen, wie z. B. die genannte Software Dreamweaver von Adobe, erfordern eine größere Einarbeitungszeit bzw. größere technische Bedienkompetenz



und könnten das Gleichgewicht zwischen der Auseinandersetzung mit den Inhalten und der Gestaltung der Hypertexte gefährden (vgl. Stahl & Bromme, 2005, S. 224). Für die Durchführung der explorativen Interventionsmaßnahme wurde die Nutzung von PowerPoint geplant, da davon auszugehen war, dass die Studierenden über die wesentlichen Grundkenntnisse in der Nutzung von PowerPoint verfügen. Zudem bietet PowerPoint weitere Möglichkeiten, die für die Erstellung von Hypertexten in einem Learning by Design-Ansatz von Vorteil sind. Zum einen steht für jeden Knoten bzw. jede Informationseinheit immer nur begrenzter Raum für die darzustellenden Informationen zur Verfügung, da die mit PowerPoint (oder auch mit Open-Office Impress) erstellten Seiten nicht scrollbar sind. Dies beeinflusst die zwei folgenden wichtigen Prinzipien der Gestaltung von Knoten positiv: Jeder Knoten sollte nicht mehr Informationen beinhalten, als zum Verständnis unbedingt notwendig ist und das Prinzip der „cohesive closeness“ (Gerdes, 1997, zit. nach Stahl, 2009, S. 252) sollte bei der Gestaltung von Informationsknoten berücksichtigt werden. „Cohesive closeness“ bedeutet, dass die wesentlichen Informationen eines jeden Knotens für sich verständlich sein sollten, ohne dass andere Knoten gelesen werden müssen. Da in PowerPoint und Impress für die Gestaltung der Knoten immer nur der Raum von Bildschirmbreite x Bildschirmhöhe zur Verfügung steht, müssen sich die Lernenden bei der Gestaltung des Medienprodukts auf diesen Raum beschränken und die aufzubereitenden Inhalte auf verschiedene Informationseinheiten sinnvoll verteilen. Des Weiteren bietet PowerPoint die Möglichkeit, ohne großen technischen Aufwand die Benutzeroberfläche und Navigation des Hypertexts grafisch auszugestalten, was die einfache Umsetzung einer zuvor geplanten Metapher unterstützt. Gerade der Einsatz verweissensitiver Grafiken ist in PowerPoint relativ einfach durch die Verwendung transparenter Formen, die mit Hyperlinks versehen sind, zu realisieren (vgl. Siegle, 2006).

Zusammenfassend lassen sich aus den hier erörterten Überlegungen die Grundlagen ableiten, über die die Studierenden für die Erstellung eines Hypertextes im Rahmen der Interventionsmaßnahme verfügen sollten:

- Grundkenntnisse Hypertext & Begriffsklärung: Knoten, Kante, Anker
- Grundkenntnisse Screen Design (Bildschirm-Typographie, Layout, Text- und Informationsmenge)
- Kenntnisse über Sitestrukturmodelle
- Kenntnisse über Metaphern und deren Rolle für graphische Benutzeroberflächen und Hypertexte
- Kenntnisse über die Auswirkung bei der Berücksichtigung verschiedener Adressatengruppen
- technische Bedienkompetenz zur Erstellung eines Hypertexts in PowerPoint: Gestaltung von Knoten und Verweis auf andere Knoten, insbesondere die Realisierung verweissensitiver Grafiken zur Gestaltung der graphischen Benutzeroberfläche des Hypertexts (siehe Anleitung im Anhang, S. 354)

## 7.4 Stichprobe

An der Studie nahmen 10 Personen teil, davon 6 männliche und 4 weibliche Studierende. Die Studienteilnehmenden wurden durch deren Teilnahme an einem physikdidaktischen Seminar gewonnen. Die Studie wurde im Rahmen des Seminars durchgeführt. Es handelt sich also bei der Stichprobe um eine natürliche Gruppe. Alle Studierenden befanden sich oberhalb des vierten Semesters. Acht der zehn Studierenden hatten Physik als Hauptfach belegt, die beiden anderen Studierenden studierten Physik im Nebenfach.

Die Teilnahme am Seminar setzte die vorherige Teilnahme an einem verpflichtenden Seminar zu Grundlagen der Optik in vorangegangenen Semestern voraus. Insofern verfügten die Studierenden über das nötige Grundlagenwissen im Bereich Optik, um mit ihnen die Interventionsmaßnahme zu erproben.

## 7.5 Material

Nachfolgend werden die in der explorativen Studie eingesetzten Materialien vorgestellt. Dazu gehören die hinführende Vorstellung des Konzepts „Learning by Design“, begriffliche und gestalterische Grundlagen zur Erstellung von Hypermedia, die den Studierenden während der Produktionsphase zur Verfügung stehenden Informationsquellen, die informationstechnische Umgebung sowie ein Fragebogen zur Erhebung medienbasierter Lehre.

### 7.5.1 Vorstellung des Konzepts „Learning by Design“

Im Rahmen des physikdidaktischen Seminars wurde den Studierenden der Learning-by-Design-Ansatz als eine Möglichkeit der Integration von Medienbildung und Informationstechnologie sowie der Umgang mit Texten in ihrem zukünftigen Physikunterricht vorgestellt. Neben der Exploration der Interventionsmaßnahme hatte die Learning by Design-Phase im Rahmen der physikdidaktischen Veranstaltung auch das Ziel, den Studierenden aus der Perspektive von Lernenden das Konzept von Learning by Design vorzustellen und zu vermitteln. Den Studierenden wurde deshalb zunächst die dem Ansatz zugrunde liegenden Theorien aus der Schreibprozessforschung und das daraus abgeleitete didaktische Konzept von Learning by Design mit den einzelnen Phasen des Produktionsprozesses (vgl. Stahl, 2010) vorgestellt (siehe Kapitel 5.3 und 5.4).

### 7.5.2 Begriffliche und gestalterische Grundlagen zur Erstellung von Hypertext

Hinführend wurden im Seminar Begrifflichkeiten wie Anker, Kante und Knoten eingeführt und dabei verschiedene Beispiele von Hypertexten betrachtet. Ebenso wurde das Konzept der Metapher in der Mensch-Maschine-Kommunikation (siehe Seite 116) vorgestellt, da es wichtig für die Planungsphase und die anschließende mediendidaktische Reflexion des Medienprodukts ist. In diesem Zusammenhang wurde auch der Begriff Sitestruktur eingeführt und verschiedene Sitestruktur-Modelle betrachtet.

### 7.5.3 Informationsquellen

Den Studierenden stand während der Veranstaltung der Handapparat der Abteilung Physik zur Verfügung, der sich in unmittelbarer Nachbarschaft zu den genutzten Fachräumen befindet. Des Weiteren hatten die Studierenden im Seminarraum Zugang zu Informationsquellen im Internet.

Zudem standen den Studierenden die Experimente der Sammlung der Abteilung Physik zur Verfügung, auf die sie zurückgreifen konnten, wenn sie beispielsweise Fotografien zu einzelnen Phänomenen anfertigen wollten, um eigenes Bildmaterial in den Hypertext einzubinden.

### 7.5.4 Geräteausstattung

Die genutzten Fachräume der Physik sind ausgestattet mit acht stationären Desktop-PCs und vier Laptops mit Internetanschluss und gängiger Office- und Bildbearbeitungssoftware. Des Weiteren befindet sich in einem der genutzten Fachräume ein separater Videoschnittplatz.

### 7.5.5 Instrument

#### *Instrument zur Einschätzung des Kompetenzerwerbs durch Learning by Design*

Nach der ersten Erprobung der Interventionsmaßnahme wurden die Erfahrungen der Studierenden mit Learning by Design, die Reflexion des eigenen Lernprozesses, der Umgang mit der Technik sowie die Einschätzung mit Blick auf den späteren Unterricht erhoben. Die Daten wurden mit Hilfe eines Fragebogens sowie offener Fragen schriftlich erfasst. An die schriftliche Erhebung schloss sich eine abschließende mündliche Reflexion im Plenum an.

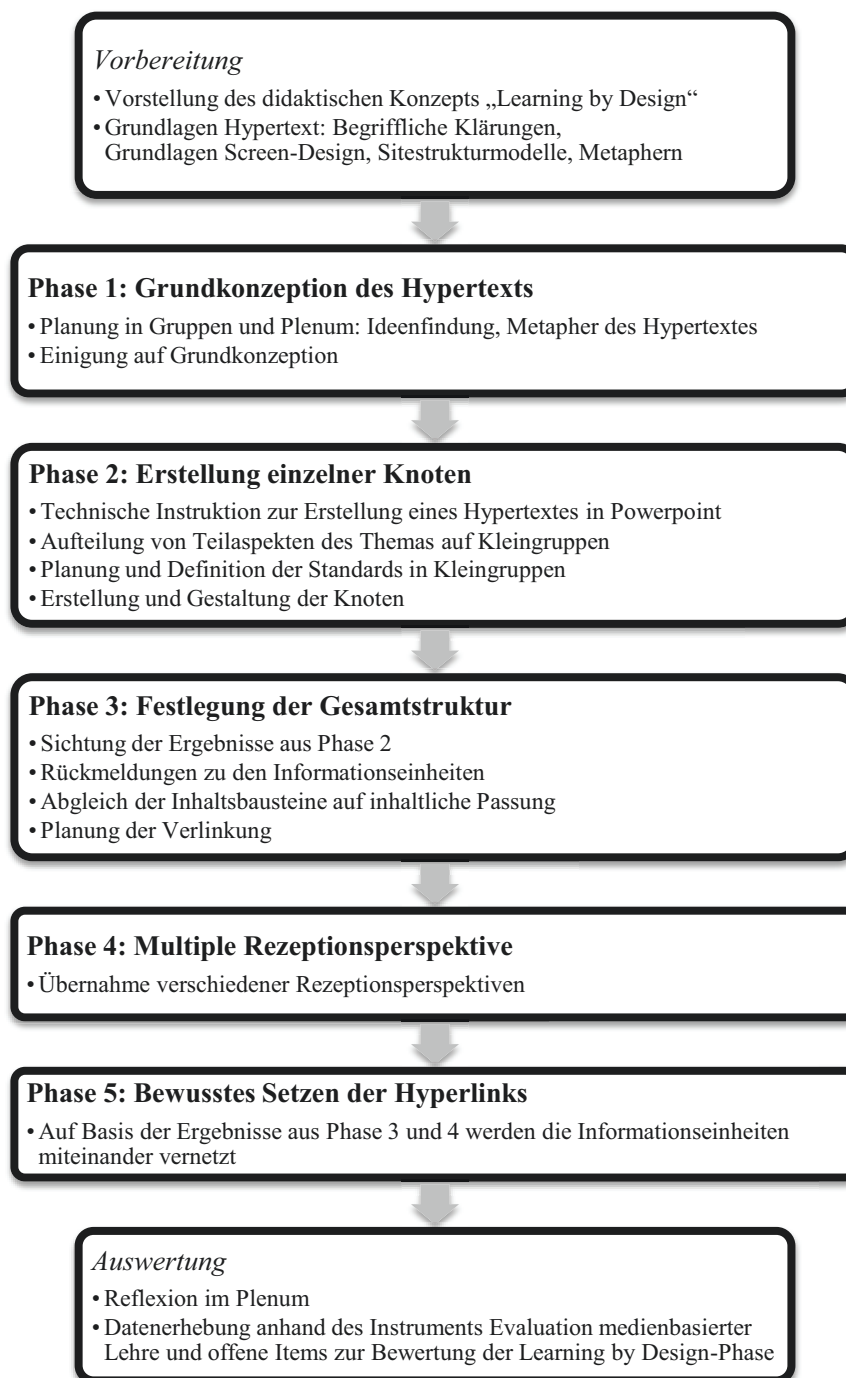
Für die Einschätzung des Kompetenzerwerbs der Learning by Design-Phase wurden Items aus dem Fragebogen zur Evaluation medienbasierter Lehre (Paechter, Maier & Grabensberger, 2007) entnommen. Dieses Instrument wurde entwickelt, um die Einschätzung des Kompetenzerwerbs medienbasierter, universitärer Lehre zu erfassen. Als konzeptionelle Grundlage von medienbasierter Lehre legten die Entwickler des ursprünglichen Fragebogens die Zielvorstellung zu Grunde, dass Kooperation und Kommunikation mit anderen Lernenden und Lehrenden außerhalb von Präsenzveranstaltungen medial basiert stattfindet und der Lernstoff medial aufbereitet dargeboten wird (Paechter et al., 2007, S. 70). Paechter et al. konnten faktoranalytisch zwei Faktoren in den 21 Items herausarbeiten, die sie wie folgt bezeichnen: „Erwerb von Kompetenz in der Wissensdomäne“ und „Erwerb von Medienkompetenz“.

Die Items des Instruments wurden dahingehend adaptiert, dass sie sich besser für die kooperative und produktive Arbeit mit digitalen Medien im Rahmen des Learning by Design-Ansatzes eignen. Für den Einsatz in der explorativen Studie wurden acht Items genutzt, die auf Seite 126 im Ergebnisteil dieser Studie dokumentiert sind. Aufgrund der geringen Stichprobengröße wurde im Rahmen der explorativen Studie auf eine Item- und Reliabilitätsanalyse verzichtet.

### 7.5.6 Geplanter Verlauf der explorativen Interventionsmaßnahme

Da die Studierenden über das nötige Vorwissen (vgl. Kapitel 5.3) zur Initiierung des „knowledge-transforming“-Prozesses verfügten, beschränkte sich die Vorbereitung der Learning by Design-Phase auf die Vorstellung des didaktischen Konzepts und der Vermittlung der nötigen technischen Fertigkeiten, die auch bis in die erste Phase des Learning by Design-Ansatzes hineinreichen. Die Planung der Maßnahme selbst orientierte sich an den Phasen nach Stahl (2009, 2010).

*Schematische Darstellung des geplanten Verlaufs:*



**Abbildung 7.7:** Geplanter Verlauf der Interventionsmaßnahme (explorative Studie)

## 7.6 Verlauf der Intervention

Nach der ersten Veranstaltung, in der den Studierenden das didaktische Konzept Learning by Design, dessen konzeptionelle Grundlagen und die Phasen nach Stahl (2009) sowie hypertextspezifische Designelemente wie Metaphern und Sitestrukturmodelle vorgestellt wurden, wurde in der darauffolgenden Veranstaltung das Thema des zu erstellenden Hypertexts präsentiert: „Wie ist die Natur des Lichts? – die Kontroversen zwischen Newton und Huygens sowie Goethe und Newton“. Für die erste Planungsphase fand eine Ideensammlung in Kleingruppen statt, bei der sich die Studierenden zum möglichen Grundkonzept bzw. einer möglichen Metapher des Hypertextes austauschten. Nach der Sammlung in den Kleingruppen fand ein Austausch zu den Ideen im Plenum statt, um gemeinsam das Grundkonzept für den zu erstellenden Hypertext festzulegen. Nach der Sammlung im Plenum ergaben sich folgende inhaltliche und gestalterische Vorschläge, die im Plenum diskutiert wurden:

- Statt der Kontroverse zwischen Newton und Goethe wünschten sich die Studierenden, Einsteins Theorie von Licht in den zu erstellenden Hypertext aufzunehmen, um auf den Welle-Teilchen-Dualismus eingehen zu können.
- Auf den Startseiten des zu erstellenden Hypertexts soll den Rezipienten Basiswissen vermittelt werden. Grundlegende Fragen sollten von einer Sympathiefigur gestellt werden, die dann in einfacher Form beantwortet werden.
- Phänomene wie Beugung, Interferenz und der photoelektrische Effekt sollen als von der Gruppe aufgenommene Videos in den Hypertext eingebunden werden.
- Bezüglich der Metapher des Hypertexts diskutierten die Studierenden verschiedene Möglichkeiten, wie die verschiedenen Ansätze der Forscher zueinander in Beziehung gesetzt werden können. Hier reichten die Vorschläge von einer Inszenierung der Kontroverse in Form einer Diskussion in einer sozialen Community, wie z. B. Facebook, bis hin zu einer Raummetapher, bei der die Rezipienten des Hypertextes die Forscher in ihren Laboren bzw. Arbeitszimmern besuchen. Die letztere Idee wurde als grundlegendes Gestaltungskonzept des Hypertextes festgelegt.

Nach der ersten und vorläufigen Einigung auf das Gestaltungskonzept erfolgte die technische Einführung in die Erstellung von Hypertexten mit PowerPoint. In diesem Zusammenhang kam von Seiten der Studierenden der Vorschlag, das Medienprodukt nicht mit PowerPoint, sondern in Form eines Wikis mit einem entsprechenden Tool im Internet online zu erstellen. Dieser Vorschlag wurde aufgegriffen und in der anschließenden Veranstaltung erfolgte eine Einführung in die Erstellung von Hypertexten/Wikis mit Wikispaces<sup>2</sup>.

In Kleingruppen arbeiteten die Studierenden sowohl in der Veranstaltung als auch zu Hause inhaltlich und gestalterisch an den einzelnen Informationseinheiten. Nach Fertigstellung der einzelnen Knoten erfolgte eine Sichtung der Zwischenergebnisse im Plenum. Zur Visualisierung und Gesamtschau der Ergebnisse aus Phase 2 wurden Ausdrucke der Knoten erstellt und

---

<sup>2</sup> Wikispaces ([www.wikispaces.com](http://www.wikispaces.com)) ist eine online zur Verfügung stehende Plattform zur Erstellung von Wikis, die vor allem im Bildungsbereich genutzt wird.

die Studierenden präsentierten sich gegenseitig ihre Arbeitsergebnisse. In dieser Phase erfolgte ein inhaltlicher Austausch zu den erarbeiteten Knoten und deren gegenseitigen Bezügen. Zur Festlegung der Gesamtstruktur wurden Wollfäden genutzt, um mögliche Hyperlinks zwischen den Knoten zu visualisieren und zu planen (vgl. Stahl, 2009, S. 253). Im Anschluss an die Visualisierung der inhaltlichen Bezüge bzw. der zu setzenden Hyperlinks erfolgte eine Besprechung, wie verschiedene Rezeptionsperspektiven berücksichtigt werden können. Zum einen wurde schon in der ersten Phase geplant, dass interessierte Laien durch grundlegende Fragen, die von einer Sympathiefigur gestellt werden, in das Thema eingeführt werden. Um auch ein Angebot für Experten zu bieten, die Interesse am schnellen und gezielten Zugriff auf Informationen haben, wurde der Beschluss gefasst, ein Glossar in das Wiki-Netz zu integrieren, das wesentliche Schlagworte des Themas mit den passenden Knoten verknüpft. Hierfür wurde aus den einzelnen Arbeitsgruppen ein Team gebildet, das die aus ihrer Sicht wesentlichen Schlagwörter sammelte und in einen weiteren Knoten einpflegte. In Phase 5 wurden die zuvor besprochenen Verknüpfungen zwischen den Knoten realisiert.

## 7.7 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der explorativen Studie vorgestellt. Zunächst wird unter 7.7.1 auf den produzierten Hypertext eingegangen, um danach unter 7.7.2 die organisatorischen Aspekte auszuwerten. Anschließend wird unter 7.7.3 die Analyse der erhobenen Daten aus den Rückmeldungen der Studierenden dargestellt, um danach auf die Ergebnisse einer abschließenden Gruppendiskussion einzugehen.

### 7.7.1 Der Hypertext

Innerhalb von vier Veranstaltungen, die in einem Zeitraum von sechs Wochen stattfanden, erarbeiteten die Studierenden einen Hypertext in Form eines Wiki-Netzes. In Gruppen gestalteten die Studierenden Informationseinheiten kollaborativ, deren inhaltliche Aspekte hier stichwortartig zusammengefasst dargestellt sind (im Anhang, S. 338, finden sich Abbildungen exemplarischer Knoten):

*Startseite* mit einleitender Erklärung und Hyperlinks zu den jeweiligen Substartseiten von Huygens, Newton und Einstein und einem Hyperlink zum Glossar

#### *Informationseinheiten zu Huygens*

- Sympathiefigur, die den Leser/ die Leserin begrüßt und einen Dialog mit Huygens beginnt, um zu erfahren, wie ein Regenbogen entsteht.
- Stichwortartige Biographie Huygens
- Darstellungen zu Huygens Vorstellungen zur Natur des Lichts
- Darstellung des Prinzips der Elementarwelle (mit einem durch die Studierenden erstellten Film)

- Erklärung der Reflexion im Wellenmodell (mit einem durch die Studierenden erstellten Film)
- Erklärung der Brechung im Wellenmodell (mit einem durch die Studierenden erstellten Film)

#### Informationseinheiten zu Newton

- Newtons Arbeitszimmer mit Hyperlinks zu Unterseiten
- Biographie Newtons, in der sich der Forscher „persönlich“ an den Leser wendet und sein Leben aus subjektiver Perspektive berichtet, mit Hyperlinks Darstellungen besonderer Stationen und Ereignisse seines Lebens
- Darstellung von Newtons Experiment zur Zerlegung des Sonnenlichts anhand eines Prismas
- Darstellung Newtons Korpuskulartheorie und die Erklärung der Phänomene Reflexion und Brechung im Rahmen dieser Theorie

#### Informationseinheiten zu Einstein

- Einsteins Arbeitszimmer mit Hyperlinks zu Unterseiten
- Einsteins Biographie
- Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Planck'schen Wirkungsquantum und Einsteins Vorstellung des Photons
- Darstellung des Photoeffekts, dessen mathematische Erklärung und audiovisuelle Darstellung des Hallwachs-Effekts im eigens erstellten Film
- Kurze Erklärung des Welle-Teilchen-Dualismus mit Hyperlinks zur Wellentheorie Huygens und Korpuskeltheorie Newtons

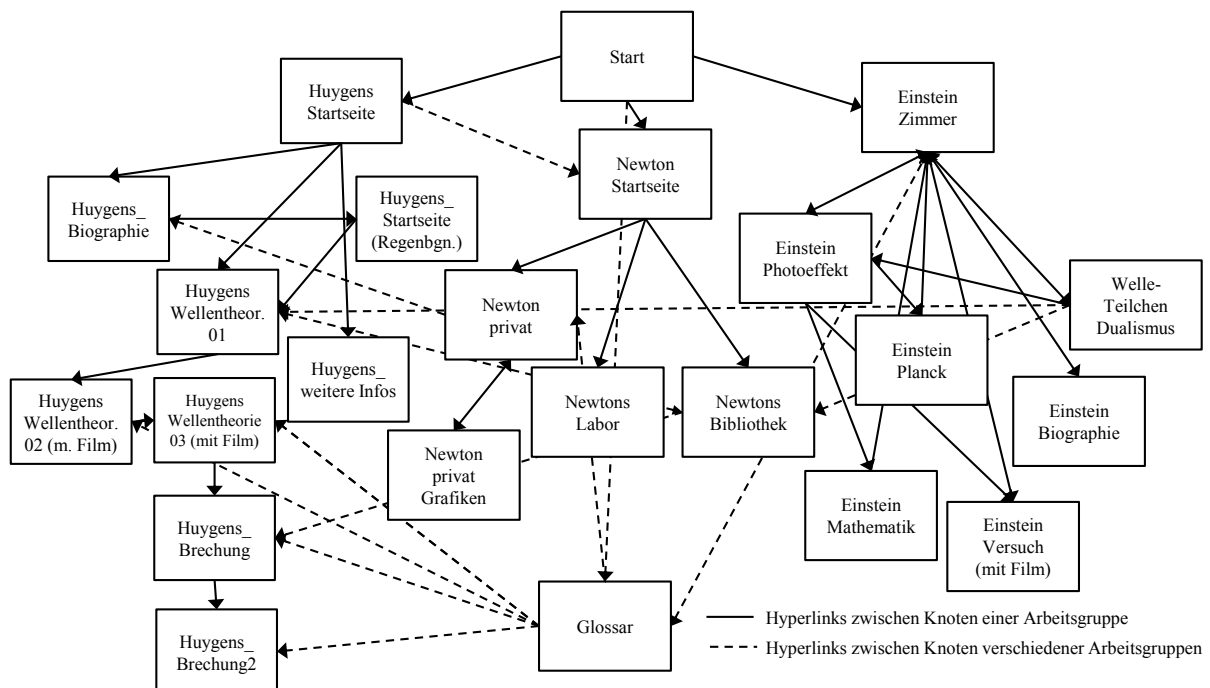


Abbildung 7.8: Struktur des Hypertexts der explorativen Interventionsmaßnahme

### ***Glossar (unvollständig)***

- Verschiedene Schlagwörter mit Hyperlinks zu den jeweiligen Knoten des Hypertexts

Die entstandene Sitestruktur des Abbildung 7.8 dargestellt ist, entspricht einer Mischform aus Baum- und Netzstruktur (vgl. Abbildung 7.6, S. 116).

Der entstandene Hypertext hat den Umfang von insgesamt 23 Informationseinheiten, welche von 42 Hyperlinks miteinander verbunden wurden.

### **7.7.2 Organisatorische Aspekte**

Die Ausstattung der Fachräume der Physik mit acht PCs und vier Laptops mit Internetanschluss und gängiger Office- und Bildbearbeitungssoftware sowie dem Videoschnittplatz der Physik waren geeignet, den Hypertext im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes zu erstellen.

Für die Durchführung der Learning by Design-Phasen nach Stahl (2009, 2010) und die Gestaltung und Erstellung des Wikis in der Veranstaltung sowie als Hausarbeit, waren vier Veranstaltungen in einem Zeitraum von sechs Wochen gerade ausreichend. Ergänzungen des Hypertexts, die in Phase 4 beschlossen wurden, konnten nicht umfassend implementiert werden.

Die technische Handhabung der internen Funktionen des Wiki-Editors von Wikispaces und das Einpflegen der Inhalte stellten für die Studierenden keine Probleme dar. Schwieriger gestaltete sich aufgrund der technischen Möglichkeiten des Wiki-Editors dagegen die Umsetzung der in Phase 1 geplanten Metapher und die Gestaltung der Benutzeroberfläche im Prozess, da der Wiki-Editor von wikispaces keine integrierte Funktionen zur Erstellung von berührungssensitiven Grafiken, z. B. mit Hilfe von Image-Maps, bereitstellt. Grundsätzlich ist die Verwendung verweissensitiver Grafiken mit Hilfe zusätzlicher Software und Bearbeitung des Quelltexts in Wikispaces möglich (vgl. Jeong, 2008), dies stellte jedoch im Rahmen dieses Vorhabens einen unverhältnismäßig großen Aufwand dar, was in dem gegebenen Zeitrahmen zur übermäßigen Betonung technischer Aspekte bei der Gestaltung der Seiten geführt hätte. Da die Studierenden, besonders diejenigen in den Einstein- und Newton-Arbeitsgruppen, die Raum-Metapher so umsetzen wollten, dass der zukünftige Rezipient die Forscher in ihren Arbeitszimmern „besucht“, wurden die Abbildungen der Arbeitszimmer in einzelne Bilddateien zerschnitten und in Tabellen positioniert. Im Wiki-Editor war es nicht möglich, die Tabellenzellen randlos zu gestalten, was zur nicht vermeidbaren optischen Aufteilung in der Darstellung der Arbeitszimmer führte (vgl. Anhang, S. 338). Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Möglichkeiten der grafischen Ausgestaltung der Benutzeroberfläche eines Hypertexts und der Metapher in einem Wiki-Editor, wie z. B. Wikitext, der Wikispaces zugrunde liegt, begrenzt sind.

Für die Planung, Gestaltung und Erarbeitung des Hypertexts wurden vier Seminarveranstaltungen mit je zwei Semesterwochenstunden in Anspruch genommen, dabei fanden wesentliche Planungsschritte und Absprachen in den Veranstaltungen statt. Inhaltliche Recherchearbeiten und die gestalterische Umsetzung der einzelnen Knoten erfolgten zum Teil außerhalb der Ver-



anstaltungen. Das in Phase 4 geplante Glossar wurde aufgrund mangelnder Zeit in Teilen fertiggestellt, was dazu führte, dass eine Aufnahme von Schlagwörtern der Informationsknoten zu Einstein und des Welle-Teilchen-Dualismus nicht mehr erfolgte.

In den einzelnen Gruppen erarbeiteten und gestalteten die Studierenden Informationseinheiten zu den Biographien der einzelnen Forscher und ihrer Theorien. Zur Gestaltung der Knoten nutzten die Studierenden einerseits statisches und animiertes Bildmaterial aus dem World Wide Web und andererseits selbst angefertigte Zeichnungen und Filme. Weniger wurde der Handapparat der Physik für Recherchetätigkeiten in Anspruch genommen. Die Filme wurden zur Veranschaulichung des Huygensschen Prinzips und des photoelektrischen Effekts unter Verwendung von Materialien des Physiklabors erstellt, auf youtube<sup>3</sup> eingestellt und in den Hypertext eingebunden.

### 7.7.3 Rückmeldung der Studierenden

Da die Studierenden vor der medienproduktiven Phase die theoretischen Grundlagen und die Ziele von Learning-by-Design kennen gelernt hatten, war die Rückmeldung der Studierenden zum Erleben ihres eigenen fachlichen Lernens und dem Erwerb von Kompetenzen im Umgang mit der Technik wichtig für die Auswertung der explorativen Interventionsmaßnahme.

**Tabelle 7.1:** Einschätzung des eigenen Kompetenzerwerbs durch Learning-by-Design der Studierenden in der explorativen Phase (5-stufige Likert-Skala)

N = 10	M	SD
Ich finde, die mediengestützte Lehrveranstaltung regt zur vertieften fachlichen Auseinandersetzung an.	3.8	1.03
Ich finde, die eigene mediale Aufbereitung der Inhalte durch Medienproduktion unterstützt individuelle Lernprozesse.	4.3	1.06
Ich finde, LBD fördert selbstständiges Lernen.	3.7	.95
Ich finde, LBD fördert kooperatives Arbeiten.	4.1	.57
Ich finde, LBD regt zur kritischen Auseinandersetzung mit dem Inhalt an.	2.7	.82
Ich finde, LBD fördert vernetztes Denken.	4.0	.67
Ich habe Fertigkeiten im Umgang mit PC und Internet erworben.	3.7	.82
Ich finde, ich habe bezüglich. neuer Medien dazu gelernt.	3.8	1.03
Ich habe Fertigkeiten im praktischen Umgang mit neuen Medien erworben.	3.7	.83
Ich habe Fertigkeiten in der virtuellen Teamarbeit erworben.	3.8	.79

**Anmerkung:** - = neutral

Für die Einschätzung des eigenen Kompetenzerwerbs wurden einzelne Items des Erhebungsinstruments zur Evaluation medienbasierter Lehre (Paechter et al., 2007) entnommen und für die

<sup>3</sup> Die Filme sind über folgende URLs abrufbar: <http://youtu.be/0FfHsArZu44>, [http://youtu.be/-lSBepbm\\_cQ](http://youtu.be/-lSBepbm_cQ), <http://youtu.be/bM9jwtsvTCc>, zuletzt geprüft: 13.08.2016

medienbasierte Lehre im Rahmen von Learning-by-Design adaptiert. Die erhobenen Einschätzungen der Studierenden, deren Mittelwerte und Standardabweichungen in Tabelle 7.1 dargestellt sind, dienten als Grundlage zur kommunikativen Validierung im Plenum.

Die Studierenden schätzten die vertiefte fachliche Auseinandersetzung ( $M = 3.8$ ,  $SD = 1.03$ ), individuelles ( $M = 4.3$ ,  $SD = 1.06$ ) und selbstständiges Lernen ( $M = 3.7$ ,  $SD = 0.95$ ) und Förderung vernetzten Denkens ( $M = 4.0$ ,  $SD = 0.67$ ) im Rahmen des Learning-by-Design-Ansatzes überwiegend positiv ein. Die kritische Auseinandersetzung mit den Inhalten wurde dagegen weniger positiv eingeschätzt ( $M = 2.7$ ,  $SD = 0.82$ ). Bezüglich des Umgangs mit neuen Medien zeigen die Einschätzungen, dass die Studierenden ihren Kompetenzzuwachs ähnlich einschätzen wie den Kompetenzerwerb im Umgang mit PC und Internet, wobei der zweitgenannte Wert stärker streut. Dies ist damit zu erklären, dass die Studierenden zwar von Beginn an gute Kenntnisse im Umgang mit PC und Internet hatten, viele jedoch erstmalig einen Hypertext bzw. ein Wiki-Netz erstellten.

Ergänzend zu den adaptierten Items der Einschätzung des Kompetenzerwerbs wurden die Studierenden anhand einer fünfstufigen Likert-Skala gefragt, ob sie es sich vorstellen können, in ihrem eigenen späteren Physikunterricht ein Thema im Rahmen des Learning-by-Design-Ansatzes zu bearbeiten. Bezüglich dieser Frage zeigte sich eine positive Zustimmung zum möglichen Einsatz von Learning by Design im zukünftigen Physikunterricht ( $M = 4.2$ ,  $SD = 1.23$ ). Die Studienteilnehmenden waren aufgefordert, die Gründe für ihr Rating in einem offenen Item darzulegen. Dabei begründeten vier Personen ihr positives Rating alleine dadurch, dass sie Learning by Design als neue Methode bzw. alternative Lernform im Unterschied zu herkömmlichem Unterricht empfinden. Viermal wurde der motivierende Effekt von Learning by Design als positiv hervorgehoben. Drei Personen sahen den Vorteil des didaktischen Konzepts im selbstständigen Arbeiten der Lernenden. Zwei Teilnehmende gaben an, dass sich durch Learning by Design Projektarbeit bzw. Möglichkeiten des projektorientierten Unterrichts ergeben. Je zwei Studierende sahen den Vorteil von Learning by Design darin, dass einerseits neue Medien sinnvoll in den Unterricht integriert werden können und andererseits die Medienkompetenz der Schülerinnen und Schüler gestärkt wird. Jeweils einmal wurden effektives Lernen, Stärkung der Teamkompetenz und das Erstellen eines gemeinsam entwickelten Produkts als positiver Grund für den möglichen Einsatz im zukünftigen Physikunterricht genannt.

Als problematisch bzw. bedenkenswert beim Einsatz von Learning by Design werden folgende Aspekte jeweils einmal genannt: Eine Auseinandersetzung mit den Inhalten, die von anderen Gruppen bearbeitet werden, sei gering, es bestehe das Problem des übermäßigen Einsatzes von „Copy & Paste“ und die Zeitplanung müsse gut durchdacht werden. Die einzige Person, die sich überhaupt nicht vorstellen kann, Learning by Design später einzusetzen, begründet dies mit folgender Äußerung: „Viel Aufwand bei wenig fachlichem Inhalt.“

#### 7.7.4 Gruppendiskussion

Die erhobenen Daten stellten die Grundlage für eine kommunikative Validierung im Plenum dar. Dabei bestätigten die Studierenden im Wesentlichen die oben genannten Argumente. Da sich einige der Studierenden schon in einem anderen Seminar mit den Konzepten von Newton und Huygens auseinandergesetzt hatten, schätzten sie ihren eigenen Lernzuwachs als mäßig ein. Trotzdem bewerteten sie den didaktischen Ansatz von Learning by Design und das Potential des Wissenserwerbs durch Medienproduktion für Lernprozesse als vielversprechend und bereichernd für ihre zukünftige Schulpraxis.

Ein Großteil der Studierenden meldete zurück, die Anfangs- und Planungsphase wäre zu offen gewesen. Sie hätten deshalb die ausgiebigen Diskussionen als zu lang empfunden. Deutlich wurde im Gespräch auch, weshalb die Studierenden die kritische Auseinandersetzung mit dem Inhalt als weniger gegeben einschätzten. Für eine kritische Auseinandersetzung hätte nach Meinung der Studierenden ein noch stärkerer Austausch zwischen den einzelnen Arbeitsgruppen stattfinden müssen. Ferner merkten einige Studierende an, sie schätzen einerseits die Kenntnis der Arbeit in einem Wiki-Netz für ihre spätere Tätigkeit als fruchtbar ein. Andererseits empfanden sie jedoch die Möglichkeiten der graphischen Gestaltung mit dem Wiki-Editor als unbefriedigend.

#### 7.8 Diskussion

Ausgehend von dem durch die Studierenden produzierten Hypertext und den Rückmeldungen der Studierenden lässt sich feststellen, dass sich die vorgesehenen Inhalte für die Erarbeitung in einem Learning by Design-Ansatz in einer Hochschulveranstaltung eignen. Überwiegend wurde das eigene Lernen im Learning by Design-Ansatz als positiv bewertet.

Da sowohl in den schriftlich erhobenen Daten als auch in der Gruppendiskussion von den Studierenden geäußert wurde, dass sie einen stärkeren Austausch zwischen den einzelnen Arbeitsgruppen für den Erwerb von Wissen für sinnvoll und nötig erachten, wurde für die Interventionsmaßnahme der Hauptstudie das Learning-by-Design-Konzept nach Stahl (2009, 2010) so modifiziert, dass sich die einzelnen Gruppen nach Phase 2 ihre erarbeiteten Knoten gegenseitig intensiver vorstellen.

Im Hinblick auf den zeitlichen Rahmen wird für die Hauptstudie eine fünfte Seminarveranstaltung eingeplant, um mehr Zeit für den nötigen Austausch zwischen den Studierenden zu ermöglichen.

Die Startphase der Interventionsmaßnahme wurde bewusst offen gestaltet, damit die Studierenden die Möglichkeit hatten, eigene Ideen einzubringen. Dies führte unter anderem zu einer längeren Diskussion über die zu verwendende Software bzw. Entwicklungsumgebung, was einige Studierende negativ bewerteten. Um vergleichbare Diskussionen in der Hauptstudie zu vermeiden, wird von Beginn an der Gebrauch eines Werkzeugs zur Erstellung von Hypertext gesetzt. Die Erstellung des Hypertexts mit einem Wiki-Editor war effektiv und bietet Vorteile, wie z. B.

die gemeinsame kollaborative Online-Arbeit am Projekt oder die verhältnismäßig einfache Publikation des Medienprodukts im World Wide Web. Da jedoch ausgehend vom Learning by Design-Ansatz und den zugrunde liegenden theoretischen Schreibprozessmodellen, die Arbeit anhand medienspezifischer Designmittel wichtig ist (vgl. Kapitel 5.3), um den knowledge-transforming-Prozess zu initiieren, wird in der Hauptstudie, wie unter 7.3.4 ursprünglich geplant, PowerPoint zur Erstellung des Hypertexts genutzt. Der Entschluss, die Studierenden in der Hauptstudie mit PowerPoint den Hypertext technisch umsetzen zu lassen, ist das Ergebnis des Abwägens der Vor- und Nachteile von PowerPoint im Vergleich zu dem in der explorativen Studie genutzten Wiki-Editor. Ein Vorteil des Wiki-Editors ist, dass mehrere Personen, auch von zu Hause aus, am gemeinsamen Projekt arbeiten können. Andererseits zeigte sich in der explorativen Studie, dass sich im Wiki-Editor nur eingeschränkt die grafische Benutzeroberfläche des Medienprodukts gestalten lässt. Dagegen bietet PowerPoint den Vorteil, dass aufgrund der Vorkenntnisse im Umgang mit der Software, Studierende mit einfachen Mitteln die Metapher aus Phase 1 des Learning by Design-Konzepts als auch sonstige gestalterische Planungen ohne großen technischen Aufwand umsetzen können. Diesbezüglich ist hervorzuheben, dass in Stahls Ansatz von Learning by Design nicht die Frage nach den verwendeten Werkzeugen oder die Qualität des erstellten Medienprodukts, sondern die didaktische Sichtweise auf den Prozess des Wissenserwerbs Vorrang hat. *„Zentral ist nicht das mediale Produkt im Sinne von aufwändig gestalteten Webseiten, sondern der Prozess des Wissenserwerbs und das Produkt ‚Wissen‘“* (Stahl, 2010, S. 95). Insofern stellt PowerPoint mit den Möglichkeiten des Verlinkens einzelner Folien und Dateien, der einfachen grafischen Gestaltung sowie der Erstellung verweissensitiver Grafikelemente (vgl. Seite 118 und Anhang Seite 354) ein ausreichendes Werkzeug dar, um damit im Rahmen des Learning by Design-Ansatzes Wissenserwerb durch Planung, Gestaltung und Herstellung eines Medienprodukts zu einem Thema zu initiieren.

Aufgrund der Erfahrungen in der explorativen Phase und der Rückmeldungen der Studierenden erscheint es wichtig, einen klaren Rahmen für die Hinführung zum Thema und eine verständliche Instruktion für Phase 1 sowie die wesentlichen Zielsetzungen für das zu erstellende Medienprodukt vor Beginn der eigentlichen Planungen zu formulieren. Dadurch wird im Sinne Mayers (2004) ermöglicht, dass die durch das Learning-by-Design-Konzept initiierten lernförderlichen und epistemisch sinnvollen Tätigkeiten zielführend und mit den relevanten Inhalten vollzogen werden können (vgl. Kapitel 6).

Bei der Planung, Gestaltung und Produktion der Informationsknoten setzten sich die Studierenden mit Fachwissen auseinander, das auch Aspekte der Nature of Science enthält und so eine Beschäftigung der Studierenden mit ihren NOS-Ansichten ermöglicht und im Ansatz der Heuristik dieser Arbeit sich auch auf die Bildung epistemischer Urteile auswirken dürfte. Im Folgenden wird überblicksartig dargestellt, welche Inhalte die Studierenden in dem Medienprodukt aufbereiteten. Ausgehend von der Analyse des Kapitels 7.3.3 wird aufgezeigt, mit welchen

NOS-Aspekten die Studierenden bei der Aufbereitung der Inhalte in Berührung kommen konnten. Die Auswirkung des erworbenen Inhaltswissens auf die NOS-Ansichten oder auf die Bildung epistemischer Urteile war nicht Gegenstand dieser explorativen Studie.

Die Studierenden setzten sich in der Erstellung der einzelnen Knoten arbeitsteilig mit den Biographien, den Persönlichkeiten der Forscher und ihren Theorien auseinander. Die Knoten wurden dabei durch Hyperlinks zueinander in Beziehung gesetzt, beispielsweise indem die Knoten mit den Theorien von Huygens und Newton verknüpft wurden.

Gerade die Gruppen, die sich mit Huygens und Newton auseinandersetzten, stellten die Theorien jeweils aus der Perspektive der Forscher da, wobei sie jeweils immer die konkurrierende Idee des anderen despektierlich kommentierten. Die Huygens-Gruppe produzierte Filme, in denen sie anhand eines Wellenerregers das Prinzip der Elementarwelle und die Reflexion von Licht beschreiben. Dabei wird die Theorie der Ausbreitung von Licht immer aus der Perspektive von Huygens dargestellt. Bei der Biographie Huygens beschränkten sich die Studierenden auf die Darstellung der Eckdaten seines Lebens.

Genauso wie die Huygens-Gruppe stellten die Studierenden der Newton-Gruppe die Theorie Newtons aus der Perspektive Newtons in der Ich-Form vor. Die Korpuskulartheorie wird vorgestellt und Phänomene, wie die Brechung, damit erklärt. Hierin wird auch immer auf Huygens Bezug genommen und dessen Vorstellung abgewertet. Ebenso stellt Newton sein Labor vor und wie er seine Annahmen zur Natur des Lichts anhand eines Prismas in seinen Versuchen beweisen wollte. Im Unterschied zur Huygens-Gruppe werden die wichtigen Stationen Newtons auch aus dessen Sicht geschildert. Dabei verdeutlichen die Studierenden die Überzeugung Newtons von der Richtigkeit seiner Theorie und seiner Ungehaltenheit über konkurrierende Wissenschaftler, was in dem kurzen Textausschnitt zum Leben Newtons deutlich wird: *„Diskussionen mit anderen schätzte ich ebenfalls nicht sonderlich, da mich dies oft reizte, weil die anderen meist nicht einsehen konnten, dass ich doch Recht habe.“*

Die Einstein-Gruppe arbeitete die Informationen zu Einsteins Leben und seinen Theorien sachlich und ohne Übernahme Einsteins Perspektive auf. Einsteins Leben wird ausführlich und mit den wesentlichen Stationen und Wegmarken seines wissenschaftlichen Erfolgs dargestellt. Bezüglich seiner Beiträge zur modernen Physik und zu Einsteins Vorstellungen zur Natur des Lichts stellen die Studierenden in jeweils einem Knoten vier Sachverhalte dar. Sie beschreiben in einem Knoten den klassischen Versuch (vgl. Seite 108) aufgrund dessen Einstein den photoelektrischen Effekt erklärte. Der Versuch wurde ergänzend in einem eigens produzierten Film dokumentiert, auf der Videoplattform Youtube veröffentlicht und in den Hypertext eingebunden. In einem zweiten dazugehörigen Knoten wird das Phänomen anhand mathematischer Darstellungen erklärt. In einem dritten Knoten wird der Einfluss von Max Plancks Arbeit auf die Erkenntnisse Einsteins zum photoelektrischen Effekt dargestellt. Im vierten Knoten wird kurz das Konzept des Welle-Teilchen-Dualismus dargestellt, das sich aus Einsteins Erklärung des

photoelektrischen Effekts ergibt. Hierbei stellten die Studierenden Verweise auf die Knoten der anderen Gruppen her, in denen Huygens' und Newtons Theorien dargestellt werden.

In einem zusätzlichen, nicht ganz abgeschlossenen Glossar führten die Studierenden wesentliche Begriffe der verschiedenen Theorien auf und verknüpften sie mit den entsprechenden Knoten.

In der Auseinandersetzung mit den oben beschriebenen Inhalten, setzten sich die Studierenden mit NOS-Aspekten auseinander. Der NOS-Aspekt *Beobachten und Schlussfolgern* wurde insofern in dem Medienprodukt durch die Gesamtgruppe bearbeitet, indem die Studierenden in der Huygens- und Newtongruppe dieselben beobachtbaren Phänomene, wie z. B. Reflexion und Brechung, durch die jeweiligen Theorien der Forscher, die sie aus den Beobachtungen gefolgert haben, erklärten. Gleiches gilt für den beobachteten Hallwachseffekt, den die Einstein-Gruppe im Versuch zeigte, da erst Einsteins Schlussfolgerungen das Phänomen ausreichend erklären konnten. In diesem Zusammenhang wurde auch der NOS-Aspekt *Gesetze und Theorien* in Ansätzen bearbeitet. Die Studierenden greifen Gesetze, wie das Reflexionsgesetz oder Brechungsgesetz, auf und stellen dazu passend die Theorien der Forscher dar.

Der NOS-Aspekt *Kreativität und Vorstellungskraft* wird im Medienprodukt ebenso sichtbar, da das Phänomen Licht, welches zunächst wenig mit Wellen oder Teilchen zu tun hat, aufgrund der Vorstellungskraft und Kreativität der Forscher mit diesen Modellvorstellungen in Verbindungen gebracht und damit Phänomene wie die Ausbreitung von Licht und dessen Reflexion und Brechung beschrieben werden. Auch Einsteins Erklärung des photoelektrischen Effekts beinhaltet die kreative Leistung, die Vorstellung von Licht als Teilchen bzw. Welle schlüssig in einem neuen Konzept zu vereinen. In der Unterscheidung zwischen den beobachtbaren Phänomenen und deren Erklärung anhand von Modellierungen und Modellen ist auch die Differenzierung zwischen Erfahrungs- und Modellwelt angelegt.

Der NOS-Aspekt der *Subjektivität und Theoriegebundenheit* wird in dem fertiggestellten Hypertext auch deshalb bei den Gruppenergebnissen der Huygens- und Newtongruppe sichtbar, weil die Studierenden die Theorien aus der Perspektive der jeweiligen Forscher erklären lassen. So wird beispielsweise die Theoriegebundenheit Newtons methodischem Vorgehen durch den folgenden kurzen Textauszug der Newton-Gruppe deutlich: „*Meine Annahme war, dass das Licht der Sonne aus Strahlen verschiedener Brechbarkeit besteht. Das will ich durch Versuche beweisen, die folgendermaßen ablaufen.*“ Hier wird deutlich, wie die Studierenden die Theorieabhängigkeit der Beobachtung Newtons darstellen. Nicht die reine, unverstellte Beobachtung steht zu Beginn des Erkenntnisprozesses, sondern die theoriegebundene Planung und Durchführung von Newtons Beobachtungen im Experiment. Auch im Teilprodukt der Huygens-Gruppe wird die subjektive Sichtweise Huygens' deutlich, wenn die Studierenden beispielsweise Huygens sprechen lassen: „*Meine Ansicht ist die: Von einem Punkt der Lichtquelle geht ein ‚Stoß‘ aus, der in alle Richtungen übertragen wird und dort die Teilchen in Schwingung versetzt.*“

Der NOS-Aspekt der *Vorläufigkeit* der Theorien zur Natur des Lichts wird zwar nicht in einzelnen Knoten klar sichtbar. Wenn jedoch alle Teilergebnisse der einzelnen Gruppen betrachtet werden, die die Studierenden über die Teilgruppen hinweg zueinander in Beziehung setzten, dann wird die Entwicklung unserer heutigen Vorstellung von der Natur des Lichts sichtbar. Es wird dabei deutlich, wie sich die Vorstellungen von der Natur des Lichts mit der Zeit veränderten. Ganz besonders wird das in der Darstellung von Einsteins Theorie deutlich, die nach zwei Jahrhunderten die Vorstellungen von Huygens und Newton im Welle-Teilchen-Dualismus vereinte.

Die Produktion des Hypertexts in der Gesamtgruppe führte dazu, dass auch die unterschiedliche *methodische Herangehensweise* der Forscher durch die Studierenden abgebildet wird. So steht im Medienprodukt beispielsweise die experimentelle Vorgehensweise Newtons der Vorgehensweise Einsteins gegenüber, der ein durch andere Forscher Jahre zuvor gefundenes Phänomen (Hallwachs-Effekt) auf Basis scheinbar konkurrierender Vorstellungen (Welle vs. Teilchen) und neuen Erkenntnissen Max Plancks erklärt. So wird deutlich, dass es nicht nur eine typische Abfolge an typischen methodischen Schritten gibt, um neue Erkenntnisse in den Naturwissenschaften zu erlangen.

#### *Zusammenfassung*

Insgesamt führte das didaktische Konzept von Learning by Design dazu, dass sich die Studierenden intensiv mit den Inhalten der Learning by Design-Phase auseinandersetzten.

Durch kleinere Modifikationen des Learning by Design-Konzepts soll der inhaltliche Austausch zwischen den Studierenden intensiviert werden. Bezüglich der zu verwendeten Software wurde aus der explorativen Vorstudie gefolgert, dass der Hypertext in der Hauptstudie mit PowerPoint erstellt werden soll, da sich mit dieser Software die grafische Gestaltung der Benutzeroberfläche einfacher bewerkstelligen lässt. Auch soll eine eindeutige Aufgabenstellung mit klaren Zielvorgaben zu Beginn der Interventionsphase dazu führen, dass die Studierenden sich mit Inhalten auseinandersetzen, die für das Wissenschaftsverständnis förderlich sind.

Learning by Design wird von den Studierenden sowohl bezüglich des eigenen Erwerbs von Medienkompetenz sowie Kompetenzen in der Wissensdomäne, wie z.B. der vertieften fachlichen Auseinandersetzung, überwiegend positiv eingeschätzt.

Wie das Medienprodukt, welches während der Intervention erstellt wurde, zeigt, setzten sich die Studierenden im Produktionsprozess mit NOS-Aspekten auseinander, die sich dazu eignen, ein angemessenes Wissenschaftsverständnis zu fördern.

Inwiefern sich eine Auseinandersetzung mit dem Thema im Rahmen einer Intervention auf Basis des Learning by Design-Ansatzes auf das Wissenschaftsverständnis auswirkt, wird in der Hauptstudie dieser Arbeit untersucht.

## 8. Operationalisierung von Wissenschaftsverständnis in physikspezifischen Kontexten

Die im theoretischen Teil herausgearbeiteten konzeptionellen Gemeinsamkeiten und sich ergänzenden Unterschiede der Forschungsfelder persönlicher Epistemologie und Nature of Science sind in das im Rahmen dieser Arbeit erarbeitete Instrument zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik eingeflossen. Im Folgenden sind die Schritte der Operationalisierung des in Kapitel 4 vorgestellten Modells von Wissenschaftsverständnis bis zur Durchführung der Vorstudie dargestellt. Die Darstellung der Evaluation und Revision des Instruments erfolgt in Kapitel 9.

### 8.1 Überlegungen zum methodischen Zugang

Wie in Kapitel 2.3 dargelegt, existieren bei der Messung epistemischer Überzeugungen und Urteile verschiedene Zugänge und Messmethoden. Aufgrund der unterschiedlichen konzeptionellen Rahmungen von persönlicher Epistemologie wird die Frage nach adäquaten methodischen Zugängen als offene Problemstellung des Forschungsfelds verstanden. Bei der Entwicklung des Fragebogens zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses im Rahmen dieser Arbeit flossen Überlegungen verschiedener Positionen des Forschungsfelds ein, die nachfolgend kurz umrissen sind.

Unter anderem sieht Pintrich (2002) die Notwendigkeit, persönliche Epistemologie durch eine Vielfalt an methodischen Zugängen zu erheben. Er hält einerseits Interviews und produktive Aufgabenstellungen für sinnvoll, da sie in der Lage sind, wichtige Informationen über epistemische Überzeugungen zu produzieren. Ebenso hält er es für notwendig, mehr psychometrische Forschung zur Validität und Reliabilität bestehender Instrumente zu betreiben (412–413).

Elby und Hammer (2001, S. 561) argumentieren, Interviews als Möglichkeit zur Erhebung kontextueller Nuancen zu nutzen, da die unterschiedlichen Sichtweisen, die von Probanden in verschiedenen Kontexten in Verbindung mit naturwissenschaftlichem Wissen gebracht werden, von Forschern auf die kontextuelle Nutzung analysiert werden können. Überdies halten sie Fallstudien für die Untersuchung epistemischer Ressourcen für sinn- und wertvoll, da Fallstudien einen höheren Informationsgehalt bezüglich weniger Subjekte, statt wenig Informationsgehalt bezüglich vieler Subjekte liefern (Hammer & Elby, 2002). Sie bemängeln an der Forschungspraxis die Erhebung anhand von dekontextualisierten Fragebögen und klinischen Interviews, die nur wenig mit Lernkontexten zu tun haben, in denen üblicherweise epistemische Überzeugungen ihre Anwendung finden (S. 171).

Buehl (2008, S. 108) hält es für notwendig, sowohl anspruchsvolle statistische Datenanalyse, als auch qualitative Methoden zu nutzen. Die Vorteile der statistischen Verfahren sieht er beispielsweise in der Nutzung konfirmatorischer Faktorenanalysen, um die Überzeugungsstrukturen zu analysieren, und in der Möglichkeit, Überzeugungssysteme über verschiedene Gruppen



hinweg zu vergleichen. Beim Vergleich persönlicher Epistemologie in verschiedenen Kulturen halten Bråten et al. (2009) die Kombination quantitativer und qualitativer Methoden für hilfreich, da beispielsweise Intensivinterviews in Kombination mit Fragebögen einerseits zu genaueren Messungen und andererseits zur Triangulation der Daten zu einem umfassenderen Bild epistemischer Überzeugungen führen.

Ähnlich begründet Stahl (2011) die Kombination quantitativer und qualitativer Methoden. Es geht ihm weniger darum, die Reliabilität und Validität der einzelnen Instrumente zu verbessern, sondern vielmehr um die sinnvolle gegenseitige Ergänzung der verschiedenen Methoden. Er stellt fest, dass in den meisten Fragebögen anhand von Ratingskalen vor allem epistemische Urteile erhoben werden, die durch die Aktivierung und Interaktion verschiedener kognitiver Elemente zustande kommen. Anhand eines rein quantitativen Zugangs kann wenig über den Prozess der Urteilsbildung ausgesagt werden, da Fragebögen mit Ratingskalen alleine nicht sensibel genug dafür sind (siehe Kapitel 2.3). Genauso wichtig, wenn nicht sogar wichtiger als die ausschließliche Fokussierung auf die Entwicklung möglichst reliabler Messinstrumente, sei die tiefergehende Untersuchung der Argumentation von Individuen bei der kontextuellen Bildung epistemischer Urteile.

Zusammengefasst finden sich nachfolgend die Forderungen an Methoden und Design von Studien zur Untersuchung epistemischer Urteile nach Bromme et al. (2008) und Stahl (2011):

- Eine sorgfältige Interpretation von aus Fragebögen gewonnenen Daten ist notwendig. Fragebögen erfassen nicht nur die epistemischen Urteile, sondern bis zu einem gewissen Grad auch das damit verbundene themenbezogene Wissen und Annahmen zur Ontologie. Diese Aspekte, die bei der Beurteilung der Sicherheit, Gültigkeit und „Wahrhaftigkeit“ von Wissen aktiviert werden, sollten separat erhoben werden, um ein vollständiges Bild zu erhalten.
- Es sollte überprüft werden, welcher Disziplin ein bestimmtes Thema von Individuen zugeordnet wird, da einerseits die zugeordnete Disziplin die Beurteilung der Sicherheit und Verlässlichkeit von Wissen beeinflusst. Andererseits können Themen von Individuen einer bestimmten Disziplin zugeordnet werden, die die untersuchenden Forscher anders zugeordnet hätten. So können Fehleinschätzungen zustande kommen.
- Es ist notwendig, Instrumente zu entwickeln bzw. bestehende zu kombinieren, die epistemische Urteile, themenbezogenes Wissen und Annahmen zur Ontologie messen, um ein klareres Bild über die Auswirkungen dieser verschiedenen Quellen auf epistemische Urteile in einem konkreten Kontext zu gewinnen.
- Wichtige Elemente des Lernprozesses und der beteiligten Lernenden sollten analysiert werden. Mehr Daten des (Lern-)Prozesses sollten erhoben werden.
- Verschiedene Gruppen von Individuen sollten untersucht werden, die bezüglich wesentlicher kognitiver Elemente variieren (Laien, Novizen, Experten). Diese werden dann mit Behauptungen zu Wissen oder Aufgabenstellungen konfrontiert, die im Hinblick auf die Aufgabenstellung systematisch variiert werden. Durch eine intensive Interviewtechnik kann

dann verständlich gemacht werden, wie jedes Urteil gerechtfertigt wird und auf welche kognitiven Quellen das Individuum zurückgreift.

Die methodischen Forderungen von Bromme et al. (2008) und Stahl (2011) entsprechen der Vorgehensweise eines methodenintegrativen Vorgehens im *engeren Sinne*, bei dem in einem parallelen Design qualitative und quantitative Methoden zum Einsatz kommen (vgl. Kelle, 2008). Mit dieser Vorgehensweise können zwei Ziele verfolgt werden. Entweder die Methodenkombination dient, wie von Pintrich vorgeschlagen, der gegenseitigen Validierung quantitativer und qualitativer Methoden, wenn qualitative und quantitative Methoden die selben Phänomene untersuchen, oder die Methodenkombination beruht „auf der Annahme, dass qualitative Methoden jeweils unterschiedliche Aspekte derselben Phänomene oder gar unterschiedliche Phänomene beschreiben, deren Abbildungen sich allenfalls zu einem umfassenderen Bild ergänzen können“ (Kelle, 2008, S. 232). In den Forderungen des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile an die Methodik ist klar der zweite Begründungszusammenhang für die Methodenkombination nach Kelle zu erkennen, da es nicht darum geht, die Daten im Sinne einer Triangulierung zu validieren. Es geht vielmehr darum, die Schwächen der quantitativen Verfahren, mit denen nach Stahl (2011) häufig nur epistemische Urteile erhoben werden (vgl. Kapitel 2.3), zu kompensieren und durch qualitative Verfahren zu ergänzen, um die Prozesse der epistemischen Urteilsbildung besser verstehen zu können.

Eines der Ziele dieser Arbeit war die Entwicklung eines Instruments zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik, bei der im Sinne des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile ein paralleles, methodenintegratives Vorgehen verfolgt wird, indem die psychologische und naturwissenschaftsdidaktische Perspektive, wie in Kapitel 2 und 3 dargestellt, aufeinander bezogen werden.

## 8.2 Basis des Erhebungsinstruments

Ausgehend von den Darstellungen zur Konzeptualisierung von Wissenschaftsverständnis in Kapitel 4 und den vorangegangenen Überlegungen lagen der Konstruktion des Erhebungsinstruments folgende Ziele zugrunde:

- Das Instrument soll sowohl epistemische Urteile, als auch darauf basierende kognitive Elemente, wie z. B. kontextspezifisches Inhaltswissen und die dazugehörigen Ansichten zu Nature of Science erheben.
- Die Aufgaben des Instruments sollen kontextualisiert sein. Das heißt, exemplarische Themen aus der Physik stellen die Grundlage für die Beurteilung von Wissen dar.
- In den themenspezifischen Aufgabenstellungen sollen sich offene und gebundene Items so ergänzen, dass von den Antworten der offenen Items auf die im Kontext aktivierten kognitiven Elemente geschlossen werden kann.

Zielgruppe des Erhebungsinstruments sind angehende und ausgebildete Lehrkräfte. Da mit dem Instrument das Wissenschaftsverständnis von Experten (Individuen mit Physik als Studienfach)

und Laien (Individuen ohne Physik als Studienfach) erhoben werden soll, wurde bei der Kontextualisierung darauf geachtet, dass die Themen auch für Laien bedeutungsvoll sind und nicht zwingend vertieftes Fachwissen gefordert wird, um den Fragebogen zu bearbeiten.

Die Strategie bei der Konstruktion des Instruments entsprach der rationalen bzw. deduktiven Testkonstruktion (vgl. Bühner, 2011, S. 92–93). Diese Strategie liegt dann nahe, wenn ausgearbeitete Theorien der zu untersuchenden Konstrukte vorliegen, was im Rahmen dieser Arbeit der Fall ist. Zugleich wurde durch Top-Down-Technik (S. 97) auf Basis der Konzeptualisierung von Wissenschaftsverständnis und bestehender Instrumente aus dem Forschungsfeld zu persönlicher Epistemologie und Nature of Science das Erhebungsinstrument entworfen. Im Folgenden werden die Instrumente vorgestellt, die als Basis für den Fragebogen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik dienen.

### 8.2.1 Connotative Aspects of Epistemological Beliefs (CAEB)

Das Instrument CAEB (Stahl & Bromme, 2007) ist ein semantisches Differential und besteht aus 24 Adjektivpaaren, die in der Entwicklungsphase des Instruments ursprünglich den drei häufig in Fragebögen zu findenden Dimensionen Einfachheit, Sicherheit und Quelle zugeordnet wurden. Es misst konnotative Aspekte im Sinne von assoziativen und bewertenden Urteilen, und nicht explizit-denotatives Wissen. In diesem Sinne ist der CAEB ein Instrument zur Messung epistemischer Urteile. Der CAEB ist nicht dafür konzipiert, über die den epistemischen Urteilen zugrunde liegenden kognitiven Elemente (dem explizit-denotativen Wissen, S. 774) Aussagen zu treffen. Insofern halten Stahl und Bromme die Kombination des CAEB, zur Messung epistemischer Urteile, mit anderen Erhebungsverfahren, die die zugrunde liegenden kognitiven Elemente messen, für sinnvoll (S. 784). Des Weiteren eignet sich das Instrument zum Einsatz in verschiedenen Disziplinen bzw. Kontexten/Themen. Bei der Bearbeitung des semantischen Differentials beurteilen Probanden Wissen in einer bestimmten Disziplin bzw. in einem bestimmten Kontext, indem sie auf einer siebenstufigen Skala zwischen zwei antonymen Adjektiven eine Bewertung vornehmen.

Abbildung 8.1 zeigt die Items des CAEB. Bei der in der Überschrift genannten Disziplin bzw. des Kontexts handelt es sich um Beispiele, die durch andere Disziplinen, Kontexte oder Themen ersetzt werden können.

**Wissen (z. B. in Physik/über Dunkle Materie) ist:**

		1	2	3	4	5	6	7	
1	einfach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	komplex
2	stabil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	instabil
3	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
4	integriert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	segmentiert
5	beweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unbeweisbar
6	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
7	oberflächlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	tief
8	vergänglich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvergänglich
9	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
10	absolut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	relativ
11	geordnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungeordnet
12	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
13	flexibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inflexibel
14	eindeutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mehrdeutig
15	ausgehandelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	entdeckt
16	strukturiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unstrukturiert
17	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
18	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
19	offen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	abgeschlossen
20	verbunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	getrennt
21	akzeptiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	umstritten
22	sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unsicher
23	detailliert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	global
24	konstruiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vorhanden

**Abbildung 8.1:** CAEB: ein Instrument zur disziplin- bzw. kontextspezifischen Erhebung epistemischer Urteile (Stahl & Bromme, 2007)

Stahl und Bromme (2007) berichten, dass die mit dem Instrument erhobenen Daten eine stabile Faktorenstruktur mit zwei Faktoren zeigen. Die ursprünglich in der Konstruktion des Instruments angelegte dreifaktorielle Struktur wurde zugunsten der stabileren zweifaktoriellen Struktur aufgegeben, die mehrfach in unterschiedlichen Erhebungen repliziert werden konnte (S. 783). Die beiden Dimensionen wurden *Textur* und *Variabilität* benannt. Dabei bestand der größte Unterschied zwischen Textur und Einfachheit. Bei der Evaluation des Instruments zur Erhebung epistemischer Urteile von Studierenden stellten Stahl und Bromme fest, dass kein Studierender Wissen als einfach einschätzte. Stahl und Bromme vermuten, dieses Urteil sei untypisch für Studierende. In der stabileren zweifaktoriellen Lösung bezieht sich der Faktor Textur auf epistemische Urteile zur Beschaffenheit und Struktur von Wissen: Wissen kann beispielsweise als ungenau oder genau, als ungeordnet oder geordnet oder als objektiv oder subjektiv beurteilt werden. Dagegen bezieht sich der Faktor Variabilität auf die Veränderlichkeit von Wissen: Wissen kann beispielsweise als abgeschlossen oder offen oder statisch oder dynamisch beurteilt werden. Korrelationen zwischen den beiden Faktoren Textur und Variabilität weisen darauf hin, dass sie nicht gänzlich unabhängig voneinander sind.

### 8.2.2 Topic-Specific Epistemic Beliefs Questionnaire (TSEBQ)

In jüngeren Studien wird eine Kontextualisierung bei der Erhebung epistemischer Überzeugungen bzw. Urteile beispielsweise dadurch erreicht, indem die Probanden aufgefordert werden, Aussagen eines kontrovers diskutierten Themas im Hinblick auf deren Natur des Wissens zu beurteilen. Eine solche Kontextualisierung wurde auch bei der Fragebogenkonstruktion im Rahmen dieser Arbeit in einer Teilaufgabe zu einem Thema aus der Physik verwirklicht. Als Basis für die Erhebung epistemischer Urteile im Kontext einer Kontroverse diente das Instrument TSEBQ von Bråten et al. (2009).

Bråten et al. orientierten sich bei der Konstruktion des TSEBQ an gängigen Instrumenten und der Konzeption von Hofer und Pintrich (1997). Der TSEBQ erhebt epistemische Urteile/Überzeugungen in den vier Dimensionen Sicherheit (6 Items), Einfachheit (6 Items), Quelle (5 Items) und Rechtfertigung von Wissen (7 Items). Bråten et al. setzen den Fragebogen zur Untersuchung persönlicher Epistemologie in verschiedenen Kulturen ein, wobei der kulturspezifische Aspekt der Studie nicht ausschlaggebend für die Übernahme der Items in das im Rahmen dieser Arbeit zu konstruierende Erhebungsinstrument war. Um die Aktivierung unterschiedlichen Inhaltswissens seitens der Studienteilnehmenden bei der Befragung zu vermeiden, betteten Bråten et al. die Erhebung epistemischer Urteile/Überzeugungen in den Kontext des Themas Klimawandel ein, wobei sie darauf hinweisen, das Thema sei grundsätzlich austauschbar. Das Instrument könne entsprechend adaptiert auch im Kontext anderer Kontexte oder Themen eingesetzt werden (S. 541) Die Eingrenzung des Themas erfolgt durch die Formulierungen der Items. Die Teilnehmenden waren in der Studie von Bråten et al. aufgefordert, auf einer Skala von 1 (starke Zustimmung) bis 10 (starke Ablehnung) die Aussagen zu bewerten. Nachfolgend sind zu den vier Dimensionen Sicherheit, Einfachheit, Quelle und Rechtfertigung jeweils ein Item exemplarisch in der Originalfassung aufgeführt (aus Bråten et al., 2009, S. 544–545):

- **Sicherheit:** “What is considered to be certain knowledge about climate today, may be considered to be false tomorrow.”
- **Einfachheit:** “With respect to knowledge about climate, there are seldom connections among different issues.”
- **Quelle:** “I often feel that I just have to accept that what I read about climate problems can be trusted.”
- **Rechtfertigung:** “To check whether what I read about climate problems is reliable, I try to evaluate it in relation to other things I have learned about the topic.”

Da epistemische Urteile zur Natur des Wissens in den Studien von Stahl und Bromme (2007) bei Studierenden sich nicht im Faktor „Einfachheit“ zeigten, wurde von der Adaption und Übernahme der entsprechenden Items aus dem TSEBQ in das im Rahmen dieser Arbeit konstruierte Instrument abgesehen. Diesbezüglich scheint auch interessant, dass in der Studie von Bråten et

al., bei der die epistemischen Überzeugungen norwegischer und spanischer Studierender miteinander verglichen wurden, eine kulturenübergreifende einheitliche Faktorenstruktur der drei Faktoren Sicherheit, Quelle und Rechtfertigung gefunden wurde, wohingegen sich der Faktor Einfachheit in der Gruppe der spanischen Studierenden ebenso nicht zeigte (S. 553).

Für die geplante Pilotierung wurden je drei Items zu Sicherheit, Quelle und Rechtfertigung aus TSEBQ entnommen. Bei der Auswahl der Items waren thematische Anpassbarkeit auf das physikalische Thema „Entstehung/Zustand des Universums“ als auch die von Bråten et al. festgestellte Faktorenladungen die leitenden Kriterien. Bezüglich der Faktorenladungen bildeten die Daten der norwegischen Stichprobe die Grundlage (vgl. Bråten et al., 2009, S. 543–544).

### 8.2.3 Views of Nature of Science questionnaire (VNOS)

Das Instrument VNOS (Lederman et al., 2002) ist ein gängiges Instrument zur Erhebung der Ansichten zu Nature of Science. Konzeptionell basiert es auf den in Kapitel 3.1.1 vorgestellten Aspekten der Nature of Science. Das Instrument wurde aufgrund methodenkritischer Annahmen gegenüber bestehender standardisierter Erhebungsverfahren entwickelt. Die Kritik bezog sich auf die problematische Annahme, Individuen verstehen bestimmte Aussagen in standardisierten Verfahren genauso, wie sie die Entwickler der Instrumente verstehen. Sie würden demnach den Ansichten der Entwickler zustimmen bzw. widersprechen und nicht ihre eigenen Ansichten entfalten, die möglicherweise ganz anders geartet sind. Aus dieser Methodenkritik heraus erschien Lederman et al. das Hervorrufen, die Erfassung und Analyse von NOS-Ansichten durch offene Itemformate als sinnvoller (S. 502–503).

VNOS liegt in unterschiedlichen Varianten für verschiedene Zielgruppen vor. Dabei handelt es sich beispielsweise bei VNOS-A um die erste Fassung des Instruments, mit der Ansichten von Schülerinnen und Schüler erhoben werden können. VNOS-C, dessen Items als Basis für die Konstruktion des Instruments im Rahmen dieser Arbeit genutzt wurden, wurde ursprünglich für Studierende und angehende Lehrkräfte entwickelt. Das Anforderungsniveau entspricht demnach der Zielgruppe der empirischen Studien dieser Arbeit. VNOS-C besteht aus zehn Aufgaben, die jeweils aus mehr oder weniger kurzen Item-Stämmen und dazugehörigen Fragen bestehen. Die Themen der Items stammen aus unterschiedlichen Disziplinen der Naturwissenschaften, die je nach Frage verschiedene NOS-Aspekte hervorrufen können. In 10 der 11 Aufgaben des Fragebogens der Vorstudie fand entweder eine Orientierung an den Themen und Formulierungen der Itemstämme von VNOS oder eine Übernahme der offenen Items, teilweise mit Adaption, statt (vgl. dazu Tabelle 8.1, Seite 142).

Im Folgenden sind drei Beispiele aus der Originalversion des VNOS-C aufgeführt, die Äußerungen von Ansichten zur vorläufigen und kreativen Natur der Naturwissenschaften hervorrufen sollen. Lederman et al. betonen jedoch, die Aufgaben können auch andere Ansichten zu NOS-Aspekten hervorrufen (S. 512):

- “What, in your view, is science? What makes science (or a scientific discipline such as physics, biology, etc.) different from other disciplines of inquiry (e.g., religion, philosophy)?”
- “Is there a difference between a scientific theory and a scientific law? Illustrate your answer with an example.”
- “Science textbooks often represent the atom as a central nucleus composed of protons (positively charged particles) and neutrons (neutral particles) with electrons (negatively charged particles) orbiting that nucleus. How certain are scientists about the structure of the atom? What specific evidence do you think scientists used to determine what an atom looks like?”

Für die Bearbeitung des VNOS-C sehen Lederman et al. etwa 45–60 Minuten vor. Jedes VNOS-Item sollte dabei auf ein separates Blatt gedruckt werden, damit beim Beantworten genug Platz zur Verfügung steht. Nach der schriftlichen Beantwortung der ungebundenen Items ist die Befragung in einem Interview mit einer Teilstichprobe (15–20% der Befragten) vorgesehen, bei dem etwaige Unklarheiten oder Bedeutungszuschreibungen erkundet werden können (S. 511). Für den Fall, dass mehrere Forscher an der Analyse der Daten beteiligt sind, halten Lederman et al. es für unerlässlich, Interrater-Übereinstimmung bzw. Reliabilität zu etablieren (S. 512).

#### 8.2.4 Views on Science and Education (VOSE)

Um auch mit größeren Stichproben die Ansichten zu NOS-Aspekten zu erheben, entwickelte Chen (2006a) ein standardisiertes Verfahren mit geschlossenen Items auf Basis verschiedener NOS-Instrumente, unter anderem auch des VNOS. Um in dieser Arbeit eine inferenzstatistische Auswertung auf Skalenniveau zu ermöglichen, wurden bei der Instrumentenentwicklung auch geschlossene Items aus VOSE aufgenommen. Neben den Ansichten zu Nature of Science werden in VOSE insgesamt 83 geschlossenen Items auch relevante Einstellungen zum Unterrichten der Naturwissenschaften erhoben. Diese 30 Items wurden jedoch aber im Kontext dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

In VOSE werden Ansichten zu folgenden NOS-Aspekten erhoben: Vorläufigkeit (3 Items), Natur der Beobachtung (5 Items), naturwissenschaftliche Methode (6 Items), Theorien und Gesetze (11 Items), Gebrauch von Vorstellungskraft (5 Items), Absicherung naturwissenschaftlichen Wissens (7 Items), Subjektivität und Objektivität (36 Items). Die hohe Anzahl an Items zu Subjektivität und Objektivität kommen dadurch zustande, dass einige Items anderer NOS-Aspekte in die Skala aufgenommen wurden, da beispielsweise Ansichten zur Methodologie oder Vorstellungskraft auch als Ausdruck der Ansichten zu Subjektivität und Objektivität gewertet werden (vgl. Chen, 2006a, S. 811–812).

Die Items werden durch einen Item-Stamm wie im folgenden Beispiel eingeleitet, auf den verschiedene Äußerungen folgen. Zu jeder dieser Aussagen wird der Grad der Zustimmung bzw. Ablehnung anhand einer fünfstufigen Likert-Skala erfasst. Die Beispielaufgabe mit Item-

Stamm und fünf Items dient zur Erhebung der Ansichten zur Rolle der Vorstellungskraft von Wissenschaftlern im englischen Original<sup>4</sup> (Chen, 2006b):

- When scientists are conducting scientific research, will they use their imagination?
  - a) Yes, imagination is the main source of innovation.
  - b) Yes, scientists use their imagination more or less in scientific research.
  - c) No, imagination is not consistent with the logical principles of science.
  - d) No, imagination may become a means for a scientist to prove his point at all costs.
  - e) No, imagination lacks reliability.

Bei den Items des VOSE fällt auf, dass sie innerhalb der Naturwissenschaften nicht weiter thematisch spezifiziert bzw. kontextualisiert sind. Bei der Übernahme und Adaption in das Erhebungsinstrument dieser Arbeit erfolgte in vielen Fällen eine Spezifizierung auf die Disziplin Physik bzw. eine Einengung auf ein bestimmtes Thema durch Adaption und Darbietung zusammen mit anderen Items der oben aufgeführten Instrumente.

### 8.3 Adaption und Integration

Bei der Adaption und Integration der Items der verschiedenen Instrumente stand einerseits die stimmige themenspezifische Bildung von Aufgabenblöcken und andererseits die Ergänzung geschlossener Items zur Erhebung quantitativer Daten durch offene Items zur Erhebung qualitativer Daten im Vordergrund. In Tabelle 8.1 sind die Themen der Aufgaben, die darauf basierenden Instrumente, die zu erhebenden Konstrukte und das Itemformat überblicksartig dargestellt. Im Mittelpunkt der Fragebogenentwicklung stand das Ziel, ein Instrument zu entwickeln, das bei der Erhebung quantitativer Informationen in Form von Ratings immer auch anhand von offenen Items die zugrunde liegenden aktivierten kognitiven Elemente sichtbar macht. Die Herausforderung bei Adaption und Integration der Items zu Aufgabenblöcken bestand darin, möglichst themenspezifische Rahmungen zu schaffen, ohne die Probanden zu sehr in ihren Ansichten zu beeinflussen. Insofern stellten die Formulierungen der Item-Stämme des VNOS eine gute Basis für die Gestaltung der Aufgaben dar. Ferner wurden die Beispiele in den Item-Stämmen, wenn sinnvoll und möglich, auf die Disziplin Physik eingegrenzt. In Tabelle 8.1 wird deutlich, dass bestimmte NOS-Aspekte in den insgesamt 11 Aufgaben von 15 offenen und 118<sup>5</sup> geschlossenen Items mehrfach erhoben werden können. Zum einen liegt das daran, dass gerade offene Items, wie z. B. die Frage, was Naturwissenschaft ist, ganz verschiedene Ansichten hervorrufen können. Zum anderen liegt es auch daran, dass sich die in der Tabelle dargestellte Struktur auf den ersten Entwurf des Fragebogens bezieht, der in einer Vorstudie getestet wurde und somit mehr Items enthielt, um selektieren zu können.

---

<sup>4</sup> VOSE existiert auch in einer chinesischen Fassung, in der das Instrument entwickelt und pilotiert wurde.

<sup>5</sup> Manche der offenen Items werden mit zwei Auswahlfeldern angeführt (vgl. Fragebogen der Hauptstudie im Anhang, z. B. Seite 266). Sie haben die Funktion, die Probanden eine Auswahl treffen zu lassen, um diese dann begründen zu lassen. Sie werden nicht im Sinne eines geschlossenen Items gezählt und sind auch nicht in Tabelle 8.1 als solche aufgeführt.



**Tabelle 8.1:** Bestandteile des Instruments zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik in der Fassung der Vorstudie.

#	Aufgaben	Instrumente	Konstrukte/Kategorie	Item-format	Item-Anzahl
1	Was ist Naturwissenschaft?	VNOS-C	<i>empirische Basis, Rolle von Evidenz, (Methode, Experiment, Objektivität/Subjektivität, Entdecken/Erfinden, Schlussfolgern)</i>	offen	1
	Wissen in Physik/ Erziehungswissenschaft	CAEB	disziplinspezifische epistemische Urteile	geschl.	48
2	Experiment	VNOS-C	<i>Objektivität/Subjektivität, Methode, Experiment</i>	offen	2
3	Methode	VOSE	<i>Methode/Experiment</i>	geschl.	5
4	Wissen über die Struktur von Atomen	VNOS-C	<i>Schlussfolgern, Kreativität/Vorstellungskraft, Konstrukte/Modelle,</i>	offen	1
		CAEB	<i>kontextspezifische epistemische Urteile</i>	geschl.	13
5	physikalische Theorien und Gesetze	VNOS-C	<i>Theorie und Gesetz, (Schlussfolgern, Vorläufigkeit, Entdecken/Erfinden)</i>	offen	1
		VOSE	<i>Theorie und Gesetz</i>	geschl.	4
		Venn-Diagr. <sup>c)</sup>	<i>Theorie &amp; Gesetz</i>	geschl.	7
		CAEB	<i>Annahmen zur Ontologie Theorie und Gesetz</i>	geschl.	12
		VNOS-C	<i>Vorläufigkeit Theorien, (Schlussfolgern, Objektivität/ Subjektivität, Kreativität/Vorstellungskraft, Theoriegebundenheit)</i>	offen	1
6	Energie	VNOS-C <sup>a</sup>	<i>Konstrukt/Modell, Kreativität/Vorstellungskraft, Objektivität/Subjektivität</i>	offen	2
7	Kreativität und Vorstellungskraft	VOSE	<i>Kreativität/Vorstellungskraft</i>	geschl.	5
		VNOS-C <sup>b</sup>	<i>Kreativität/Vorstellungskraft, (Objektivität/Subjektivität, Entdecken/ Erfinden)</i>	offen	1
8	Entstehung des Universums (Kontroverse)	VNOS-B <sup>a</sup>	<i>Theoriegebundenheit, Vorläufigkeit, (Objektivität/ Subjektivität, Schlussfolgern, Kreativität/Vorstellungskraft, soziokulturelle Einbettung</i>	offen	1
		Informationsquelle <sup>c</sup>		offen	2
		TSEBQ <sup>a</sup>	epistemische Überzeugungen/Urteile	geschl.	9
9	Soziokulturelle Einbettung	VNOS-C <sup>b</sup>			
		VOSE	<i>soziokulturelle Einbettung</i>	geschl.	4
10	Gesetze: entdeckt oder erfunden	VNOS-C	<i>soziokulturelle Einbettung, (Subjektivität/ Objektivität, Schlussfolgern, Vorläufigkeit),</i>	offen	1
		VOSE	<i>Entdeckt oder erfunden, (Theorie &amp; Gesetz)</i>	geschl.	5
11	Theorien: entdeckt oder erfunden	nach VNOS-C	<i>Entdeckt oder erfunden</i>	offen	1
		VOSE	<i>Entdeckt oder erfunden, (Theorie &amp; Gesetz)</i>	geschl.	6
11		nach VNOS-C	<i>Entdeckt oder erfunden, (Theorie &amp; Gesetz)</i>	offen	1

**Anmerkung:** Ansichten zu NOS-Aspekten sind kursiv gestellt. In Klammer gesetzte NOS-Aspekte sind Ansichten, die zusätzlich zu den intendierten hervorgerufen werden können. Mit a gekennzeichnete Instrumente sind thematisch adaptiert. Mit b gekennzeichnet bedeutet, dass der Item-Stamm übernommen wurde. Mit c gekennzeichnete Items sind Eigenentwicklungen.

Im ersten Aufgabenblock wurden in der Fassung des Fragebogens der Vorstudie zusätzlich zu den epistemischen Urteilen der Disziplin Physik auch die epistemischen Urteile zur Disziplin

Erziehungswissenschaft mit dem CAEB erhoben, um etwaige disziplinspezifische Unterschiede der epistemischen Urteile analysieren zu können.

Exemplarisch ist in Abbildung 8.2 eine Aufgabe dargestellt, in denen Ansichten zu Nature of Science mit offenen Items und epistemische Urteile mit geschlossenen Items erhoben werden. Der Fragebogen (siehe Anhang, S. 300) beginnt nach der Erfassung der demografischen Daten mit einer Aufgabe, die disziplinspezifische NOS-Ansichten zu Naturwissenschaften in Abgrenzung zu anderen Formen des „Wissens“ in Form der Geisteswissenschaft erhebt (Abbildung 8.2). In den beiden sich anschließenden semantischen Differentialen des CAEB werden epistemische Urteile zur Disziplin Physik und Erziehungswissenschaft/Pädagogik erhoben.

Was ist aus Ihrer Sicht Naturwissenschaft? Was unterscheidet Naturwissenschaft (oder eine ihrer Disziplinen, wie z.B. Physik) von Geisteswissenschaft (z.B. Philosophie, Theologie)?

**Wissen in der Physik ist:**

	1	2	3	4	5	6	7	
1	einfach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	komplex
2	stabil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	instabil
3	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
4	integriert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	segmentiert
5	beweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unbeweisbar
6	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
7	oberflächlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	tief
8	vergänglich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvergänglich
9	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
10	absolut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	relativ
11	geordnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungeordnet
12	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
13	flexibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inflexibel
14	eindeutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mehrdeutig
15	ausgehandelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	entdeckt
16	strukturiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unstrukturiert
17	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
18	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
19	offen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	abgeschlossen
20	verbunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	getrennt
21	akzeptiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	umstritten
22	sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unsicher
23	detailliert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	global
24	konstruiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vorhanden

**Wissen in Erziehungswissenschaft/Pädagogik ist:**

	1	2	3	4	5	6	7	
1	einfach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	komplex
2	stabil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	instabil
3	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
4	integriert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	segmentiert
5	beweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unbeweisbar
6	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
7	oberflächlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	tief
8	vergänglich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvergänglich
9	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
10	absolut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	relativ
11	geordnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungeordnet
12	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
13	flexibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inflexibel
14	eindeutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mehrdeutig
15	ausgehandelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	entdeckt
16	strukturiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unstrukturiert
17	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
18	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
19	offen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	abgeschlossen
20	verbunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	getrennt
21	akzeptiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	umstritten
22	sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unsicher
23	detailliert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	global
24	konstruiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vorhanden

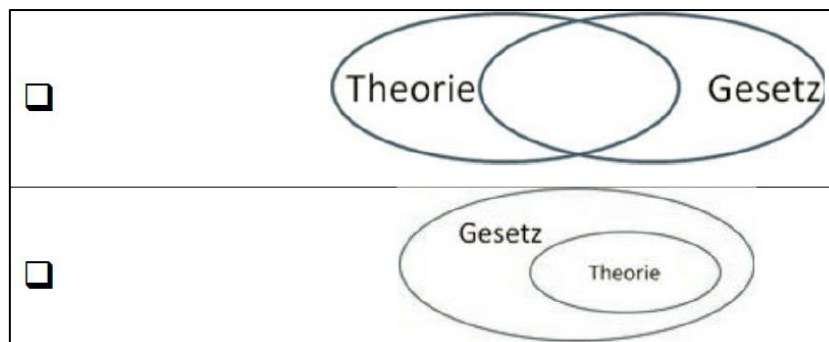
**Abbildung 8.2:** Verkleinerte Darstellung der Kombination von VNOS- und CAEB-Items in einem Aufgabenblock (zwei Seiten)

Diese Aufgabe zu Beginn des Fragebogens soll zunächst einleitend disziplinspezifische epistemische Urteile und NOS-Ansichten erheben.

Die offenen Items des VNOS ermöglichen das Elaborieren des durch die Aufgabenstellung aktivierten Inhaltswissens und der dazugehörigen NOS-Aspekte der Probanden. Im Laufe der Bearbeitung des Fragebogens werden NOS-Ansichten und epistemische Urteile themenspezifisch erhoben, was den Vergleich disziplinspezifischer und themenspezifischer epistemischer

Urteile ermöglicht. Ähnlich wie die Kombination des VNOS-Items und der CAEB-Items in der ersten Aufgabe ist beispielsweise die themenspezifische Aufgabe zum Wissen über die Struktur von Atomen und den zugrunde liegenden NOS-Ansichten und dem Inhaltswissen gestaltet (siehe Anhang, S. 316).

Zu den übernommenen und adaptierten Items aus CAEB, VNOS, VOSE und TSEBQ wurden noch eigene Items in den Fragebogen aufgenommen. Ausgehend von der Idee, Zugang zu epistemischen Überzeugungen oder Urteilen zu erhalten, indem man Probanden ihre Vorstellung von Wissen zeichnen lässt (vgl. Briell, Elen, Depaepe & Clarebout, 2010), war zunächst vorgesehen, in der Paper & Pencil-Fassung des Fragebogens die Probanden Venn-Diagramme zu dem NOS-Aspekt des Verhältnisses zwischen Gesetz und Theorie zeichnen zu lassen (Tabelle 8.1, Aufgabe 5). Da im Rahmen der Planung der Vorstudie entschieden wurde, eine erste Fassung des Fragebogens mit einer größeren Stichprobe online zu erheben, wurde davon abgesehen, die Probanden selbst Venn-Diagramme zeichnen zu lassen. Stattdessen wurden im Fragebogen sieben verschiedene Venn-Diagrammen dargestellt, die unterschiedliche Verhältnisse zwischen Theorie und Gesetz visualisieren. So findet sich in der Fassung der Vorstudie beispielsweise ein Venn-Diagramm, das zwischen Theorie und Gesetz eine große Schnittmenge aufweist oder ein anderes Venn-Diagramm, bei dem Theorie als gänzlich umschlossen von Gesetz dargestellt ist (vgl. Abbildung 8.3).



**Abbildung 8.3:** Exemplarische Abbildungen zweier Venn-Diagramme zur Darstellung des Verhältnisses zwischen Theorie und Gesetz

Aufgabenbereich 8 enthält ebenfalls im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Items, die die Meinung der Probanden zur Entstehung des Universums erheben und erfragen, woher die Probanden dieses Wissen haben. Ebenso werden die Probanden in einem offenen Item gefragt, wie sie vorgehen würden, wenn sie möglichst sicheres Wissen über die Entstehung des Universums beziehen wollten. Diese Items haben neben der Erhebung der genannten Informationen auch die Funktion eines inhaltlichen Bindeglieds zwischen dem VNOS-Item und den TSEBQ-Items.

Um in der inferenzstatistischen Auswertung Gruppen bezüglich Expertise in Physik bilden zu können, wurden bei der Ermittlung der demografischen Daten neben Geschlecht und Alter auch die studierten Fächer und die studierte Schulart erhoben.

## 8.4 Erste Erprobung des Fragebogenentwurfs

Nach der Erstellung einer ersten Fassung wurde der Fragebogenentwurf erstmals mit einer kleinen Stichprobe erprobt, um die Konstruktion und Instruktion der Aufgaben und Items bezüglich der Verständlichkeit sowie die technische Handhabung der Online-Fassung zu überprüfen.

Die mehrfache Erprobung des Instruments mit Laien und Experten war notwendig, um das Instrument einerseits auf die fachliche Fundierung und andererseits auf die Verständlichkeit und Relevanz der Themen für Laien zu überprüfen. Daneben lag der Fokus auf der Optimierung der sprachlichen Ausgestaltung der Aufgabenstellungen und Items.

### 8.4.1 Fragestellung

Bei der ersten Testung und Evaluation des Instruments interessierten folgende Fragen:

- Sind die Formulierungen der Aufgabeninstruktionen und der Items sowohl für Laien als auch Experten verständlich und ansprechend?
- Ist die Bearbeitung des Fragebogens selbsterklärend?
- Verlaufen der kontrollierte Zugang und die Bearbeitung des Online-Fragebogens technisch problemlos?
- Ist die vollständige Bearbeitung des Fragebogens in einem zeitlichen Rahmen von 45 bis 60 Minuten möglich?
- Wie viel Zeit wird für die Bearbeitung der einzelnen Teilaufgaben benötigt?

### 8.4.2 Methode

#### 8.4.2.1 *Stichprobe*

Bei der Gewinnung der Stichprobe wurde einerseits darauf geachtet, dass sowohl Lehrkräfte mit und ohne Inhaltswissen in der Physik an der ersten Testung des Fragebogens teilnahmen. Des Weiteren wurden auch Personen zur Bearbeitung des Fragebogens gewonnen, bei denen es sich nicht um Lehrkräfte handelte, da gerade bei der Erprobung der Online-Fassung des Instruments vor allem die Analyse der Handhabung des Instruments interessierte. Dadurch sollte auch die prinzipiell signalisierte Bereitschaft von Lehrkräfte für die Teilnahme an einer Befragung für die später durchgeführte Pilotierung genutzt werden.

An der ersten Testung des Fragebogens nahmen sechs Personen teil, davon waren fünf männlich und eine weiblich. Bei den drei Lehrkräften handelte es sich um je eine Lehrkraft des Gymnasiums mit studiertem Fach Physik, einer Lehrkraft der Berufsschule und einer Lehrkraft der Realschule. Die beiden Lehrkräfte der Berufsschule und Realschule haben nicht Physik studiert. Bei drei weiteren Teilnehmenden der ersten Testung handelte es sich um Personen, die durch ihre berufliche Tätigkeit eine Affinität zu naturwissenschaftlich-technischen Themen haben. Bei zwei Personen handelt es sich um Maschinenbauingenieure, eine Person ist Techniker für Druck- und Medientechnik.

#### 8.4.2.2 *Material und Durchführung*

Zunächst wurde eine erste Paper & Pencil-Fassung des Fragebogens mit einem Experten (Gymnasial-Lehrkraft mit studiertem Fach Physik) und einem Laien (Berufsschul-Lehrkraft ohne studiertes Fach Physik) durchgeführt. Beide Personen wurden nach dem Ausfüllen des Erstentwurfs befragt und mögliche Veränderungen am Fragebogenentwurf gemeinsam mit den Lehrkräften diskutiert.

Die sich aus dem ersten Probedurchgang ergebenden Veränderungen wurden in den Fragebogen eingearbeitet und in eine Online-Fassung des Instruments implementiert. Dabei wurde der Zugang zu dem Online-Fragebogen für die vier Teilnehmenden des zweiten Testdurchgangs mit einer Seriennummer versehen, um den Zugang zum Fragebogen kontrollieren und diese Funktion des Online-Instruments im Vorfeld der Pilotierung überprüfen zu können. Die Online-Fassung des Instruments wurde anhand der Software und der Infrastruktur von SoSci Survey ([www.sosicisurvey.de](http://www.sosicisurvey.de)) realisiert.

#### 8.4.3 Ergebnisse

##### *Erster Probedurchgang – Paper & Pencil-Fassung*

Es wurde im ersten Probedurchgang deutlich, dass die Gymnasiallehrkraft mit Expertenwissen im Unterschied zu der Berufsschullehrkraft ohne Inhaltswissen sehr differenzierte und ausführliche Aussagen bei den offenen Items gab und sich dabei schwertat, sich bei der Beantwortung des semantischen Differentials des CAEB festzulegen. Beispielsweise äußerte die Gymnasiallehrkraft: *„Eine Dichotomie ist in manchen Feldern der Physik schwierig. Man kann beispielsweise Newtons Mechanik einfach oder komplex finden, je nach Sichtweise“*. Der Lehrkraft, die nicht Physik studiert hat, fielen die Ratings bei den CAEB-Items dagegen vergleichsweise einfach, wohingegen es schwierig für sie war, passende Begründungen und Beispiele in den offenen Items zu finden. Die Lehrkraft ohne studiertes Fach Physik hatte bezüglich Aufgabenverständlichkeit und Itemformulierungen nichts anzumerken. Anmerkungen der Gymnasiallehrkraft während und nach der Bearbeitung des Fragebogens bezogen sich vor allem auf die Eingrenzung der Domäne. So wurde darauf hingewiesen, dass Formulierungen, wie z.B. *„Naturwissenschaftler führen Experimente/Untersuchungen durch...“* oder *„Braucht es Experimente, um wissenschaftliches Wissen weiterzuentwickeln?“* noch stärker bezüglich der Disziplin spezifiziert werden können.

Bei der Beantwortung der Items des Instruments VOSE (vgl. Kapitel 8.2.4) fiel auf, dass sowohl die Lehrkraft mit studiertem Fach Physik als auch die Lehrkraft ohne studiertes Fach Physik, im einen Fall fachlich begründeten und im anderen Fall aufgrund der geringen Expertise, häufig zur Mittelposition beim Ausfüllen der Items tendierten.

Die sich aus den Beobachtungen ergebenden Veränderungen nach dem ersten Erprobungsdurchgang, auf die im Diskussionsteil eingegangen wird, wurden in die Online-Fassung des Fragebogens für den zweiten Durchgang der Erprobung eingearbeitet.

### *Zweiter Probedurchgang – Online-Fassung*

Bei der Erprobung der Online-Fassung des Fragebogens ging es primär um den technischen Ablauf bei der Handhabung des Online-Instruments, um die korrekte Erfassung der Daten sowie die Überführung der Daten in das Format zur Bearbeitung in SPSS. Ebenso sollte erprobt werden, ob die Teilnehmenden ohne weitere Unterstützung von außen und ohne der Möglichkeit der Rückfrage in der Lage sind, selbsttätig den Online-Fragebogen komplett auszufüllen und zu bearbeiten.

### *Technischer Ablauf*

Alle Teilnehmenden konnten sich mit ihrer jeweiligen Seriennummer, die den passwortgeschützten Zugang zum Erhebungsinstrument ermöglicht, einloggen und füllten den Fragebogen komplett aus. Eine Person meldete zurück, dass sie irritiert war, als sie nicht auf die nächste Seite wechseln konnte, nachdem sie vergessen hatte, ein Item des CAEB auszufüllen. Die betreffende Person regte an, eine deutliche Fehlermeldung in diesem Fall einzublenden.

Die mit dem Online-Fragebogen erfassten Daten konnten per Exportfunktion so aufbereitet werden, dass sie in SPSS weiter bearbeitet und für die Analyse der Daten verwendet werden konnten.

### *Verständlichkeit der Anweisungen und Aufgaben*

Die Teilnehmenden an der Erprobung haben alle Felder entsprechend den Anweisungen ausgefüllt und die Antworten der offenen Items lassen darauf schließen, dass die Aufgabenstellungen und die Items inhaltlich verstanden wurden. In der sich an die Bearbeitung des Online-Fragebogens anschließenden Befragung gaben alle Teilnehmenden an, dass sie keine Verständnisprobleme hatten. Eine Person äußerte in einem für die schriftliche Rückmeldung vorgesehenen Feld: „*Die Fragen sind eindeutig und verständlich, jedoch ist das Themengebiet für einen Laien sehr komplex und teilweise schwer zu beantworten.*“ (Realschullehrkraft, ohne studiertes Fach Physik)

### *Bearbeitungszeit*

Für die Bearbeitung des kompletten Online-Fragebogens inklusive dem Aufenthalt auf der Vorderseite und den einführenden Anweisungen sowie der Angabe der demographischen Daten und der Bearbeitung des Rückmeldefelds am Ende der Befragung benötigten die Teilnehmenden durchschnittlich 58.58 min ( $SD = 28.77$ ). Für die eigentliche Beantwortung der Fragen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses benötigten die Teilnehmenden im Durchschnitt 53.78 min ( $SD = 37.29$ ). Der bearbeitete Fragebogen der ersten Testung entspricht im Wesentlichen der Fassung der Vorstudie (vgl. Anhang, S. 300).

Die Aufgabenstellungen mit offenen Items bzw. mit Kombinationen aus offenen und geschlossenen Items benötigten am meisten Bearbeitungszeit. Folgende fünf Aufgabenstellungen benötigten am meisten Zeit: Aufgabe „Was ist ein Experiment?“ mit zwei offenen Items ( $M = 9.77$  min;  $SD = 11.61$ ), epistemische Urteile zur Kontroverse der Entstehung des Universums mit drei offenen Items und den geschlossenen Items des TSEBQ ( $M = 7.03$  min,  $SD = 2.48$ ), zwei

offene Items über die Sicherheit des Wissens, was Energie ist ( $M = 4.86$  min,  $SD = 4.65$ ), 13 geschlossene (CAEB) und ein offenes Item zur Frage nach der Sicherheit über die Struktur von Atomen ( $M = 4.25$  min,  $SD = 2.60$ ), sowie jeweils allen CAEB-Items zur Erhebung der epistemischen Urteile in Physik und Erziehungswissenschaft/Pädagogik ( $M = 4.25$  min,  $SD = 2.60$ ). Bei der Aufgabe zum Thema Experiment fällt die hohe Streuung der Werte auf. Auf Nachfrage beim Teilnehmer, der die längste Bearbeitungszeit benötigte (26.95 min), stellte sich heraus, dass die Person zeitweise die Bearbeitung der Aufgabe unterbrach, um sie dann nach mehreren Minuten fortzusetzen.

#### 8.4.4 Diskussion

Aus den Rückmeldungen der ersten Erprobungsrunde ergaben sich Überarbeitungen des Fragebogenentwurfs, die noch vor dem zweiten Probedurchlauf in die Online-Fassung eingearbeitet wurden. So wurden Formulierungen vereinfacht (CAEB: „*Wissen im Bereich der Physik ist:*“ zu „*Wissen in Physik ist:*“) oder abgeändert, um beispielsweise die Domäne Naturwissenschaft in vier verschiedenen Aufgaben auf die Disziplin Physik einzugrenzen (z.B. vorher „*Naturwissenschaftler führen Experimente/Untersuchungen durch,...*“, danach „*Physiker führen Experimente/Untersuchungen durch,...*“).

Des Weiteren wurde nach der ersten Erprobung die Mittelposition der fünfstufigen Likert-Skalen des VOSE entfernt, um eine Tendenz zur Mitte zu vermeiden.

Da der Zugang zum Online-Fragebogen und die Übernahme der erfassten Daten nach SPSS problemlos verliefen, musste bezüglich des kontrollierten Zugangs mit Seriennummer und der technischen Umsetzung des Fragebogens nicht nachgearbeitet werden.

Bezüglich der Anmerkung eines Teilnehmers, dass bei nicht komplettem Ausfüllen nicht auf die nächste Seite weiter gewechselt werden kann, wurde ein entsprechender Hinweis in die Anweisungen zur Nutzung des Online-Fragebogens aufgenommen.

Aufgrund der gemessenen Zeit, die die Teilnehmenden benötigten, um den Online-Fragebogen auszufüllen, wurde von einer ungefähren Bearbeitungszeit von 50 bis 60 Minuten ausgegangen. Diese Information wurde bei der Gewinnung der Stichprobe für die Pilotierung transparent gemacht.

Zudem wurde bei der Auswertung der Bearbeitungszeiten je Aufgabe im Abgleich mit den sich an den Probedurchgang anschließenden Befragungen der Teilnehmenden deutlich, dass die durch die Software festgestellten Bearbeitungszeiten nicht dafür genutzt werden können, um auf ein kontinuierliches Arbeiten durch die Teilnehmenden an den Aufgabenstellungen im registrierten Umfang zu schließen.

## 9. Pilotierung des Erhebungsinstruments

Das Erhebungsinstrument, dessen konzeptionelle Grundlagen und Entwicklung im vorangegangenen Kapitel dargestellt ist, wurde im Rahmen einer Studie pilotiert, um das Instrument empirisch zu überprüfen und es für die Hauptstudie revidieren zu können. Die erhobenen Daten boten weiterhin einen Einblick in das Wissenschaftsverständnis zukünftiger und praktizierender Lehrkräfte. Der Fragebogen in der Fassung der Pilotstudie findet sich im Anhang auf Seite 300.

### 9.1 Fragestellung

Das wesentliche Ziel der Vorstudie bestand im ersten Einsatz des Fragebogens in einer größeren Stichprobe sowie dessen Evaluation und Überarbeitung für die Hauptstudie. Die Gütekriterien wurden mit Hilfe der folgenden Methoden evaluiert: exploratorische Faktorenanalysen, Itemanalysen, der Überprüfung der inneren Konsistenz der Skalen sowie der Erarbeitung eines Kategoriensystems und der Ermittlung dessen Inter-coder-Reliabilität. Ziel war die empirisch fundierte Reduktion der Itemanzahl und damit auch die Schärfung des Fragebogens.

Auf Basis des revidierten Fragebogens wurde das Wissenschaftsverständnis in der Stichprobe explorativ untersucht. Dabei interessierten vor allem die folgenden Fragen:

- Frage 1: Zeigen die erhobenen epistemischen Urteile neben den zu erwartenden disziplinspezifischen Unterschieden auch kontext- bzw. themenspezifische Unterschiede?  
*Im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile wird davon ausgegangen, dass epistemische Urteile kontext- bzw. themenabhängig durch die flexible Aktivierung verschiedener kognitiver Elemente gebildet werden (vgl. Kapitel 2.1.3). Untersucht wird, ob disziplin- und kontextspezifische Aspekte des Wissenschaftsverständnisses in Physik (vgl. Kapitel 4.4) sich auf die Bildung epistemischer Urteile auswirken.*
- Frage 2: Besteht ein Unterschied im Wissenschaftsverständnis in Physik bei zukünftigen und ausgebildeten Lehrkräften im Hinblick auf die Schulart und dem studierten Fach (mit Physik/ohne Physik)?  
*Es wird im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile davon ausgegangen, dass Fachwissen die Bildung epistemischer Urteile beeinflusst. Deshalb wird untersucht, ob Unterschiede im Wissenschaftsverständnis zwischen Experten und Laien festzustellen ist.*
- Frage 3: Welche Zusammenhänge sind zwischen dem Fachwissen sowie den dazugehörigen NOS-Ansichten und den epistemischen Urteilen zu erkennen?  
*Da davon auszugehen ist, dass beispielsweise Wissen und Ansichten über Methoden und Erkenntnisprozesse die epistemische Beurteilung von Wissen in einer Disziplin oder Teildisziplin beeinflussen, wird untersucht, ob und in welcher Form Zusammenhänge zwischen NOS-Ansichten und epistemischen Urteilen festzustellen sind.*



## 9.2 Methode

### 9.2.1 Stichprobe

#### *Stichprobengewinnung*

Die Stichprobe wurde gewonnen, indem anhand von Schreiben an Schulleitungen, Institutionen der Schulaufsicht und der Lehreraus- und Fortbildung sowie durch Werbung auf Seiten der Hochschule und eines Lehrerverbandes für die schriftliche Befragung im Rahmen einer Online-Studie geworben wurde. Mit der Teilnahme an der Online-Studie war die Möglichkeit des Gewinns von zehn Gutscheinen im Wert von je 50,00 € verbunden. Zudem wurde der Fragebogen in einer Paper & Pencil-Fassung an zwei Hochschulen eingesetzt.

Bei der Gewinnung der Stichprobe wurde einerseits das Ziel verfolgt, eine Stichprobengröße von  $N > 100$  zu erreichen, um die Reliabilität und Validität des Testentwurfs überprüfen zu können (vgl. Mendoza, Stafford & Stauffer, 2000, S. 367). Andererseits sollte sich die Stichprobe aus Teilnehmenden unterschiedlicher Schularten sowie mit und ohne Physik als Studienfach zusammensetzen, um eine große Bandbreite an Inhaltswissen zur Physik zu erhalten, um die epistemischen Urteile und NOS-Ansichten von Laien und Experten vergleichen bzw. um die Auswirkungen des Inhaltswissens und der NOS-Ansichten auf die epistemischen Urteile analysieren zu können.

#### *Merkmale der Stichprobe*

Bis auf wenige Ausnahmen nahmen an der Studie vor allem Lehrkräfte und angehende Lehrkräfte aus Baden-Württemberg teil. Sechs Teilnehmende aus Nordrhein-Westfalen haben an der Online-Befragung teilgenommen. Wie die detaillierte Darstellung der Zusammensetzung der Stichprobe in Tabelle 9.1 zeigt, stellen die Lehrkräfte, die nicht Physik studiert haben, den größeren Teil der Stichprobe dar. 39 % der Teilnehmenden waren männlichen, 61 % weiblichen Geschlechts. Im Durchschnitt waren die Teilnehmenden 33.4 Jahre alt ( $SD = 10.32$ ).

**Tabelle 9.1:** Zusammensetzung der Stichprobe der Vorstudie

	mit Studienfach Physik	ohne Studienfach Physik	gesamt
<b>Anzahl</b>	68 (32 %)	143 (68 %)	<b>211 (100 %)</b>
<b>Geschlecht</b>			
männlich	35 (52 %)	48 (34 %)	<b>83 (39 %)</b>
weiblich	33 (48 %)	95 (66 %)	<b>128 (61 %)</b>
<b>Alter</b>			
Spannweite	21–59	23–64	<b>21–64</b>
Mittelwert	29.9 ( <i>SD</i> = 9.35)	35.1 ( <i>SD</i> = 10.37)	<b>33.4 (<i>SD</i> = 10.32)</b>
<b>Schulart</b>			
Grundschule	5 ( 7 %)	72 (50 %)	<b>77 (37 %)</b>
Hauptschule	12 (18 %)	42 (29 %)	<b>54 (26 %)</b>
Realschule	38 (56 %)	11 (8 %)	<b>49 (23 %)</b>
Gymnasium	12 (18 %)	8 (6 %)	<b>20 (10 %)</b>
Berufsschule	1 (1 %)	10 (7 %)	<b>11 ( 5 %)</b>
<b>Status</b>			
Studierende	37 (15 %)	1 ( 1 %)	<b>38 (18 %)</b>
Anwärter/innen/ Referendare/innen	13 (19 %)	35 (25 %)	<b>48 (23 %)</b>
ausgebildete Lehrkräfte	18 (27 %)	107 (75 %)	<b>125 (59 %)</b>

## 9.2.2 Instrument

In Kapitel 8 wurde ausführlich dargestellt, aus welchen geschlossenen und offenen Items sich das Erhebungsinstrument zusammensetzt, aus welchen Quellen die Items stammen, wie sie adaptiert wurden und wie sich quantitative und qualitative Formen der Erhebung themenspezifisch in Aufgabenblöcken ergänzen. Der Fragebogen in der Fassung der Vorstudie findet sich im Anhang auf Seite 300.

Im Folgenden werden übersichtsartig die genutzten und zum Teil adaptierten Items des Fragebogens und der jeweilige Verwendungszweck aufgeführt.

### 9.2.2.1 Geschlossene Items

#### *Connotative Aspects of Epistemological Beliefs (CAEB)*

Die siebenstufigen Items des semantischen Differentials CAEB (Stahl & Bromme, 2007) wurden genutzt, um die epistemischen Urteile der Disziplinen Physik und Erziehungswissenschaft/Pädagogik zu erheben. Für diese beiden Disziplinen wurde jeweils die komplette Fassung des CAEB verwendet.

Eine Auswahl an Items des CAEB wurde genutzt, um die epistemischen Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen und Annahmen zur Ontologie von Theorien und Gesetzen zu

erheben. Ausgewählt wurden diejenigen Items, die inhaltlich besonders für die Erhebung von epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur Atomen als relevant erschienen. Bei der Auswahl der Items war eine Orientierung an den dem Instrument CAEB zugrunde liegenden Skalen zweitrangig.

Konzeptionell liegen dem Instrument zwei Skalen zugrunde, die sich auf die Dimension Textur und die Dimension Variabilität beziehen. Textur bezieht sich auf die Beschaffenheit bzw. Struktur von Wissen (z.B. Wissen in *Physik* ist genau oder ungenau, objektiv oder subjektiv). Die Dimension Variabilität bezieht sich auf die Veränderlichkeit von Wissen in einer erfragten Disziplin oder einem spezifischen Kontext (z.B. Wissen in den Erziehungswissenschaften/ in Pädagogik ist abgeschlossen oder offen, statisch oder dynamisch).

#### *Topic-Specific Epistemic Beliefs Questionnaire (TSEBQ)*

Die auf das Thema „Entstehung des Universums“ adaptierten vierstufigen Items des TSEBQ (Bräten et al., 2009) wurden genutzt, um epistemische Überzeugungen bzw. Urteile zu erheben.

Die den Items zugrunde liegenden Skalen entsprechen der Konzeption von Hofer und Pintrich (1997) und beziehen sich im ursprünglichen Fragebogen auf die Dimensionen Sicherheit, Einfachheit, Quelle und Rechtfertigung. Im Fragebogen der Pilotierung wurde die Dimension Einfachheit nicht berücksichtigt.

#### *Views on Science and Education (VOSE)*

Mit einer Auswahl an Items des VOSE (Chen, 2006b) wurden anhand vierstufiger Likert-Skalen die Ansichten zu den NOS-Aspekten „Wissenschaftliche Methode“, „Theorien und Gesetze“, „Kreativität und Vorstellungskraft“, „Soziokulturelle Einbettung der Naturwissenschaften“, „Werden Theorien und Gesetze entdeckt oder erfunden?“ quantitativ erhoben.

#### *Venn-Diagramme*

Die eigens konzipierten Items mit Venn-Diagrammen beziehen sich auf das Verhältnis zwischen Gesetz und Theorie. Anhand der Venn-Diagramme werden verschiedene Verhältnisse zwischen Theorie und Gesetz dargestellt. Die Probanden wählen diejenige Darstellung aus, die aus ihrer Sicht das Verhältnis zwischen Theorie und Gesetz am besten visualisiert.

#### *Ergänzende Items*

Im Zusammenhang mit den Items des TSEBQ und dem thematischen Kontext „Entstehung des Universums“ wurden eigens konzipierte Items hinzugefügt. Die Items beziehen sich auf die persönliche Meinung zur Entstehung des Universums. Die Items haben zum einen den Zweck, ergänzende Informationen zu erhalten. Zum anderen stellen sie eine thematische Überleitung zwischen zwei offenen Items dar.

#### *9.2.2.2 Offene Items*

##### *Views of Nature of Science questionnaire (VNOS)*

Die offenen Items des VNOS (Lederman et al., 2002) dienen der Erhebung von Daten zur qualitativen Auswertung der Ansichten zu den Nature of Science. Mit den teilweise adaptierten

Items wurden beispielsweise Vorstellungen und Ansichten zur empirischen Basis, zur Rolle von Evidenz, zu Subjektivität und Objektivität, zur soziokulturellen Eingebundenheit und zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft erhoben. In Zusammenhang mit den geschlossenen Items haben die offenen Items die Funktion, auf die aktivierten kognitiven Elemente, wie z.B. Fachwissen oder Annahmen zur Ontologie, schließen zu können.

#### *Ergänzende offene Items*

Mit zwei eigens konzipierten Items im Zusammenhang mit der Kontroverse um die Entstehung des Universums wurde erhoben, woher die Probanden Wissen über die Entstehung des Universums haben und wie die Probanden vorgehen, um möglichst sicheres Wissen über die Entstehung des Universums zu erhalten.

### 9.2.3 Material und Durchführung

Die Online-Befragung wurde mit Hilfe der webbasierten Software von SoSci Survey ([www.soscisurvey.de](http://www.soscisurvey.de)) durchgeführt.

Probanden, die sich für die Teilnahme an der Online-Befragung anmeldeten, erhielten für den Zugang zur Befragung eine individuelle Seriennummer, um einerseits Mehrfachbearbeitungen des Fragebogens und andererseits das Ausfüllen durch Unbefugte zu vermeiden. Der Zugang zum Fragebogen war für einen Zeitraum von acht Wochen möglich. Für die Bearbeitung der Online-Befragung bestand keine Zeitbegrenzung. Am Ende der Online-Befragung hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit, in einem offenen Antwortfeld Anmerkungen zur Befragung zu äußern sowie für die Teilnahme am Gewinnspiel zuzustimmen.

Des Weiteren wurde der Fragebogen in einer Paper- und Pencil-Fassung in zwei Physikseminaren zweier Pädagogischer Hochschulen Baden-Württembergs eingesetzt. Für die Bearbeitung des Fragebogens hatten die Studierenden 60 Minuten Zeit.

## 9.3 Ergebnisse

In diesem Ergebnisteil wird zunächst die empirische Überprüfung des Testentwurfs dargestellt. Dabei wird erst auf die geschlossenen Items und auf die sich aus ihnen ergebenden Skalen des Fragebogenentwurfs eingegangen, um danach auf die offenen Items und deren qualitative Erfassung in einem Kategoriensystem einzugehen.

An die Darstellungen der Ergebnisse zur empirischen Überprüfung des Testentwurfs schließen sich die Ergebnisse der Analyse des Wissenschaftsverständnisses an.

### 9.3.1 Empirische Überprüfung des Instruments

#### *9.3.1.1 Skalen des Fragebogens*

##### *9.3.1.1.1 Connotative Aspects of Epistemological Beliefs (CAEB)*

Anhand der in der Vorstudie erhobenen Daten wurde überprüft, ob in einer explorativen Faktorenanalyse die Faktorenstruktur des CAEB aus den Studien von Stahl und Bromme (2007)

repliziert werden kann. Da Stahl und Bromme ebenfalls in einer ihrer Studien die epistemischen Urteile zur Physik erhoben haben (vgl. Stahl & Bromme, 2007, S. 779), wurde diese Faktorenstruktur herangezogen, um sie mit der Faktorenstruktur der epistemischen Urteile zu Wissen in Physik der hier vorgestellten Vorstudie zu vergleichen.

In einer explorativen Faktorenanalyse wurden zwei Faktoren extrahiert. Die Ergebnisse der varimax-rotierten Hauptkomponentenanalyse finden sich in Tabelle 9.2, in der sie mit der rotierten Hauptkomponentenanalyse aus der Studie von Stahl und Bromme verglichen werden.

**Tabelle 9.2:** Vergleich der Faktorenstrukturen des CAEB zu epistemischen Urteilen in der Domäne Physik

	Wissen in Physik (Vorstudie, $N = 211$ )		Wissen in Physik (Stahl, Bromme 2007, $N = 634$ )	
	Faktoren		Faktoren	
	Textur	Variabilität	Textur	Variabilität
<b>genau - ungenau</b>	<b>.81</b>	-.11	<b>.81</b>	-.16
<b>geordnet - ungeordnet</b>	<b>.77</b>	-.17	<b>.75</b>	-.12
<b>exakt - diffus</b>	<b>.72</b>	-.23	<b>.76</b>	-.16
<b>beweisbar - unbeweisbar</b>	<b>.65</b>	-.08	<b>.70</b>	-.16
<b>objektiv - subjektiv</b>	<b>.63</b>	-.14	<b>.48</b>	-.20
<b>eindeutig - mehrdeutig</b>	<b>.58</b>	-.43	<b>.55</b>	-.33
stabil - instabil	.57	-.26	.32	<b>-.55</b>
<b>absolut - relativ</b>	<b>.55</b>	-.45	<b>.45</b>	-.43
<b>strukturiert - unstrukturiert</b>	<b>.52</b>	-.15	<b>.78</b>	-.07
oberflächlich - tief	-.49	-.10	<b>-.61</b>	-.17
vergänglich - unvergänglich	-.41	.39	-.34	<b>.53</b>
ausgehandelt - entdeckt	-.21	.02	<b>-.34</b>	-.01
<b>offen - abgeschlossen</b>	-.10	<b>.79</b>	-.02	<b>.72</b>
<b>fertig - unvollständig</b>	.10	<b>-.67</b>	.09	<b>-.65</b>
<b>widerlegbar - unwiderlegbar</b>	-.19	<b>.65</b>	-.20	<b>.61</b>
<b>dynamisch - statisch</b>	-.06	<b>.64</b>	.08	<b>.67</b>
<b>flexibel – inflexibel</b>	-.06	<b>.63</b>	.03	<b>.65</b>
Anzahl der Items je Faktor	8	5	10	7
Cronbach's $\alpha$	<b>.86</b>	<b>.74</b>	<b>.83</b>	<b>.76</b>

**Anmerkung:** Die hervorgehobenen Werte zeigen die Faktorzugehörigkeit an.

Wie die Faktorenladungen zeigen, konnte die Struktur im Wesentlichen repliziert werden. Das Item *stabil – instabil* lädt im Datensatz dieser Vorstudie nicht auf demselben Faktor wie bei Stahl und Bromme. Aus diesem Grund wird zur Berechnung der Skalenwerte der Vor- und Hauptstudie dieses Item entfernt. Ebenso wird zur Berechnung der Skalenwerte das Item *vergänglich – unvergänglich* entfernt, da es gleichermaßen auf beide Faktoren lädt. Die Ladung von *ausgehandelt – entdeckt* ist auf beiden Faktoren gering, weshalb es ebenfalls zur Berechnung der Skalenwerte nicht berücksichtigt wird.

Das Adjektivpaar *tief – oberflächlich* wurde nach einer Skalenanalyse<sup>6</sup> ebenso entfernt, da der Trennschärfekoeffizient ( $r_{it} = .32$ ) einen unbefriedigenden Wert aufwies.

Somit verbleiben in der Skala Textur acht und in der Skala Variabilität fünf Items.

Die Überprüfung der inneren Konsistenz der beiden Skalen *Textur* ( $\alpha = .86$ ) und *Variabilität* ( $\alpha = .74$ ) ergeben nach Entfernung der genannten Items in der Vorstudie gute bzw. akzeptable Werte, die nahezu mit den Werten aus der Studie von Stahl und Bromme übereinstimmen. Die explorative Faktorenanalyse und die Skalenanalysen zu den mit dem Instrument CAEB gemessenen epistemischen Urteilen in Physik waren für die weiteren CAEB-Skalen des Fragebogens maßgeblich. Die mit dem CAEB gemessenen epistemischen Urteile in der Dimension Variabilität zur Disziplin Erziehungswissenschaft/Pädagogik und zum kontextspezifischen Wissen über Atome zeigten geringere Alpha-Werte oder unbefriedigende Trennschärfekoeffizienten bei einzelnen Items (siehe Anhang, Seite 323). Um jedoch die Vergleichbarkeit der Skalen der Dimensionen Textur und Variabilität unterschiedlicher Disziplinen bzw. Kontexte zu gewährleisten, wurden die in Tabelle 9.2 (Spalte Vorstudie) hervorgehobenen Items für die Skalenbildung durchgängig genutzt.

#### 9.3.1.1.2 Adaptierte Skalen des Topic-Specific Epistemic Beliefs Questionnaire (TSEBQ)

Auswahlkriterien für die Übernahme und Adaption der Items aus dem TSEBQ für den Fragebogenentwurf waren einerseits die Anpassbarkeit an den physikalischen Kontext und andererseits die Faktorenladungen aus den Studien von Bråten et al. (2009). Mit den Daten der Vorstudie wurde eine explorative Faktorenanalyse durchgeführt, bei der drei Faktoren extrahiert wurden. Die Ergebnisse der varimax-rotierten Hauptkomponentenanalyse in Tabelle 9.3 zeigen mit den adaptierten Items die gleichen gemeinsamen Faktorzugehörigkeiten wie in der Studie von Bråten et al..

Die Trennschärfekoeffizienten der Items der Faktoren Sicherheit und Quelle (vgl. Anhang, Seite 327) sowie die Reliabilität dieser beiden Skalen ( $\alpha_{\text{Sicherheit}} = .82$ ,  $\alpha_{\text{Quelle}} = .72$ ) weisen zufriedenstellende Werte auf. Dagegen sind die Werte der Trennschärfe zweier Items der Dimension Rechtfertigung ( $r_{it} = .40$ ) sowie der inneren Konsistenz der Skala ( $\alpha = .53$ ) gering. Diese Dimension wurde deshalb bei der Auswertung der Vorstudie nicht berücksichtigt. Somit verbleiben für die Auswertung der Vorstudie zwei Dimensionen mit je drei Items.

<sup>6</sup> Tabellen mit statistischen Kennwerten zu den Skalenanalysen finden sich im Anhang, S. 258.

**Tabelle 9.3:** Faktorenstruktur adaptierter Items aus TSEQB

	Faktoren		
	Sicher- heit	Quelle	Recht- fertigung
Was heute als gesichertes Wissen über Zustand und Entwicklung des Universums gilt, könnte morgen schon als falsch angesehen werden.	<b>.88</b>	-.03	-.029
Die Ergebnisse zur Entwicklung und zum Zustand des Universums sind vorläufig.	<b>.87</b>	-.01	.032
Theorien zur Entwicklung und zum Zustand des Universums könnten jederzeit widerlegt werden.	<b>.81</b>	-.02	.10
Wenn ich etwas zum Thema „Entwicklung/ Zustand des Universums“ lese, ist die Meinung des Autors wichtiger als meine eigene.	-.09	<b>.83</b>	.02
Meine persönlichen Urteile zur Entwicklung des Universums haben wenig Wert im Vergleich zu dem, was ich darüber aus Büchern und Artikeln lernen kann.	.13	<b>.83</b>	-.04
Ich habe oft das Gefühl, dass ich einfach akzeptieren muss, dass ich dem vertrauen kann, was ich über die Entwicklung/den Zustand des Universums lese.	-.09	<b>.74</b>	-.03
Wenn ich über Angelegenheiten lese, die mit der Entwicklung/dem Zustand des Universums zu tun haben, versuche ich mein eigenes Verständnis der Inhalte zu bilden.	.10	.01	<b>.77</b>
Um zu überprüfen, ob das, was ich über die Entwicklung/den Zustand des Universums gelesen habe, verlässlich ist, vergleiche ich es im Vergleich zu anderen Dingen aus, die ich gelernt habe.	-.12	.01	<b>.70</b>
Um einen echten Einblick in die Sachlage zur Entwicklung/dem Zustand des Universums zu erhalten, muss man sich seine eigene Meinung zu dem, was man gelesen hat, bilden.	.12	-.07	<b>.69</b>

### 9.3.1.1.3 Skalen des Views on Science and Education (VOSE)

#### *Ansichten zur Natur naturwissenschaftlicher Methoden*

Die Reliabilität der Skala ist gering ( $\alpha = .58$ ). Auch durch die Entfernung einzelner Items lässt sich die Reliabilität nicht steigern. Die Items zu Ansichten zur Natur naturwissenschaftlicher Methoden wurden deshalb nicht für die Auswertung der Vorstudie genutzt und nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen.

Ansichten zur Natur naturwissenschaftlicher Methoden werden stattdessen in Vorstudie und Hauptstudie anhand verschiedener offener Items erhoben.

#### *Ansichten zum Unterschied zwischen Theorien und Gesetzen*

Wegen geringer Trennschärfe ( $< .40$ ; siehe Anhang, Seite 326) und Reliabilität ( $\alpha = .48$ ) werden die Items zu „Ansichten zum Unterschied zwischen Theorien und Gesetzen“ nicht in den Fragebogen der Hauptuntersuchung aufgenommen und nicht für die inferenzstatistische Auswertung der Vorstudie berücksichtigt.

#### *Ansichten zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft*

Die fünf Items der Skala zeigen akzeptable bis gute Trennschärfekoeffizienten (vgl. Anhang, Seite 326) und eine ebenso akzeptable Reliabilität ( $\alpha = .74$ ). Deshalb werden die Items, wie im

Testentwurf enthalten, für die Auswertung der Vorstudie und für den Fragebogen der Hauptstudie verwendet.

#### *Ansichten zur soziokulturellen Einbettung der Naturwissenschaften*

Die Skala der Ansichten zur soziokulturellen Einbettung zeigen sowohl gute Cronbachs Alpha-Werte ( $\alpha = .86$ ) als auch gute Trennschärfe der Items. Aus diesem Grund werden die Items, wie im Testentwurf enthalten, für die Auswertung der Vorstudie berücksichtigt und in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen.

#### *Ansichten zur Frage „Werden Gesetze entdeckt oder erfunden?“*

Das Item „Manche Physiker entdecken ein Gesetz zufälligerweise, andere dagegen erfinden ein Gesetz auf Basis der ihnen bekannten Fakten.“ hat einen geringen Trennschärfekoeffizienten von  $r_{it} = .12$ . Nach Entfernung des Items steigt der Wert von Cronbachs Alpha von  $\alpha = .64$  auf  $\alpha = .71$ .

Die Frage, ob Gesetze entdeckt oder erfunden werden, bezieht sich auf Annahmen zur Ontologie in der Physik und ist deshalb bezüglich der dem Fragebogen zugrunde liegenden Konzeption von Bedeutung und wurde in der Auswertung der Vorstudie berücksichtigt. Da in der Hauptstudie physikalische Gesetze keine hervorgehobene Rolle spielten, wurde das Item nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen.

#### *Ansichten zur Frage „Werden Gesetze entdeckt oder erfunden?“*

Die Trennschärfe des Items „Manche Forscher entdecken eine Theorie zufällig, andere dagegen erfinden eine Theorie aus den ihnen bekannten Fakten.“ liegt bei  $r_{it} = .31$ . Deswegen wird es bei der Bildung des Skalenwerts für die Auswertung der Vorstudie nicht berücksichtigt. Nach der Entfernung des Items ergibt sich für die Skala ein Cronbachs Alpha von  $\alpha = .85$ .

#### *9.3.1.1.4 Die Skalen im Überblick*

Nach Item- und Reliabilitätsanalysen wurden insgesamt 15 geschlossene Items und drei Skalen aufgrund schwacher Trennschärfe und/oder unbefriedigender Reliabilität von der Auswertung der Vorstudie ausgenommen und nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen. Die Tabelle zeigt die für die Auswertung der Vorstudie genutzten Skalen. In einem nächsten Schritt der Selektion wurden aus inhaltlichen Gründen und um den Gesamtumfang des Fragebogens zu reduzieren, die CAEB-Items zu epistemischen Urteilen in Erziehungswissenschaft und die Items zu den NOS-Ansichten, ob Gesetze entdeckt oder erfunden werden (aus VOSE), aus dem Fragebogen entfernt. Ansichten zu naturwissenschaftlichen Methoden, zum Unterschied zwischen Theorie und Gesetz sowie der Frage, ob Gesetze entdeckt oder erfunden werden, die in den entfernten quantitativen Items erhoben wurden, wurden zum Teil auch von den Probanden in den offenen Antwortformaten geäußert und im Kategoriensystem der qualitativen Inhaltsanalyse erfasst (siehe Anhang, S. 330).



**Tabelle 9.4:** Skalen des Fragebogens, Itemanzahlen und Reliabilitätskoeffizienten

	Skalen	Dimensionen	Items	$\alpha$
<b>Epistemi- sche Urteile</b>	Epistemische Urteile zu Wissen in Physik	Textur	8	.86
		Variabilität	5	.74
	Epistemische Urteile zu Wissen in Erziehungswissenschaft <sup>b</sup>	Textur	8	.80
		Variabilität	5	.69
	Epistemische Urteile zu Wissen über die Struktur von Atomen <sup>a</sup>	Textur	4	.85
		Variabilität	3	.71
	Epistemische Urteile zu Wissen über die Entstehung des Universums	Sicherheit	3	.82
		Quelle	3	.72
<b>NOS-An- sichten...</b>	zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft in der Physik		5	.74
	zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften		4	.86
	Werden Theorien entdeckt oder erfunden?		4	.85
	Werden Gesetze entdeckt oder erfunden? <sup>b</sup>		4	.71

**Anmerkung:** <sup>a</sup> = Nicht alle Items der ursprünglichen Skalen wurden zur Skalenbildung herangezogen.

<sup>b</sup> = Aus inhaltlichen Gründen wurde diese Skala nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen.

### 9.3.1.2 Venn-Diagramme

Bei diesem Aufgabenformat sollten die Teilnehmer/innen; wie in Kapitel 8.3 beschrieben, aus einer vorgegebenen Auswahl von Venn-Diagrammen, die verschiedene Verhältnisse zwischen Theorie und Gesetz darstellen, dasjenige Venn-Diagramm aussuchen, das nach ihrer Sicht am besten das Verhältnis zwischen Theorie und Gesetz darstellt.

Die Analyse der erhobenen Daten dieser Aufgabe im Abgleich mit den erhobenen Äußerungen der offenen Items zum Unterschied zwischen Theorie und Gesetz zeigte, dass die Venn-Diagramme des Fragebogens Aspekte, wie beispielsweise den Aspekt der Veränderlichkeit nicht abbilden bzw. viel Raum für Interpretationen lassen und dadurch die Daten nur bedingt auswertbar sind. So schrieb beispielsweise ein/e Studienteilnehmer/in wortwörtlich: „Aus physikalischen Theorien können durch Beweise physikalische Gesetze werden. Aus diesen wiederum können neue Theorien entwickelt werden.“ Als Venn-Diagramm wählte der/die Teilnehmer/in ein Venn-Diagramm, das jeweils gleich große Ellipsen als Theorie und Gesetz veranschaulichen und die eine Schnittmenge bilden (vgl. oberer Teil der Abbildung 8.3. auf Seite 144). Um einen Zusammenhang zwischen der getätigten Aussage und dem gewählten Venn-Diagramm herstellen zu können, wäre eine ausführlichere Begründung von Seiten der Probanden nötig bzw. es wäre notwendig, den genauen Zusammenhang zwischen der gewählten Abbildung und der getätigten Aussage zu erfragen. Insofern erscheint die von Briell et al. (2010) vorgeschlagene Methode zur Erhebung und Analyse epistemischer Überzeugungen in offenen Interviewsituationen als sinnvoll, da in Interviewsituationen eine Elaboration der Überzeugungen seitens der Probanden durch gezieltes Nachfragen möglich wird.

Aufgrund der Schwierigkeiten, die erhobenen Daten sinnvoll in Bezug zu den getätigten Aussagen zum Verhältnis zwischen Theorie und Praxis in der Vorstudie zu setzen, wird auf die Auswertung dieser Daten im Rahmen der Pilotierung verzichtet und das Aufgabenformat nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen.

### *9.3.1.3 Offene Items*

#### *9.3.1.3.1 Auswertung der Daten*

Die schriftlich vorliegenden Antworten der offenen Items des Fragebogenentwurfs der Vorstudie wurden inhaltsanalytisch ausgewertet. Dabei erfolgte eine Orientierung an der strukturierenden Inhaltsanalyse (vgl. Mayring, 2015, S. 97–99). Bei der strukturierenden Inhaltsanalyse werden theoriegeleitet und bezogen auf die Fragestellung, Dimensionen an das zu strukturierende Material herangetragen und in einem Kategoriensystem ausdifferenziert. Danach werden Definitionen, Ankerbeispiele und Codier-Regeln festgelegt. Nach einem Materialdurchlauf werden Fundstellen extrahiert und gegebenenfalls das Kategoriensystem revidiert. Diese theoriegeleitete und deduktive Herangehensweise erschien deshalb als sinnvoll, da eine konzeptionelle Grundlage in Form der theoretischen Ansätze der Forschungen zu Nature of Science und persönlicher Epistemologie für die Analyse des Materials gegeben war. Konkret stellten die Arbeiten von Lederman et al. (2002) und Hofheinz (2008) die Basis für eine erste Strukturierung des Materials dar, um zu einem Kategoriensystem zu gelangen.

Das Material wurde durch zwei Codierer<sup>7</sup> mit Hilfe der Software MAXQDA analysiert, strukturiert, kategorisiert und codiert. Zu Beginn des Codierprozesses wurden 100 Datensätze durch Codierer A in einem Probedurchlauf strukturiert und das Kategoriensystem ausdifferenziert und ergänzt. Der zweite Codierer wurde dann anhand von Ankerbeispielen und Codier-Regeln eingearbeitet. Aus den vom ersten Codierer bearbeiteten 100 Datensätzen wurde eine Zufallsstichprobe ( $N = 10$ ) gezogen, die Codierer B bearbeitete. Im Anschluss daran wurde die einfache prozentuale Übereinstimmung zwischen den beiden Codierern überprüft, abweichende Codierungen gesichtet und besprochen. Nach dem Probedurchlauf und dem Abgleich zwischen den Codierern wurde das Kategoriensystem verdichtet. Codierer B bearbeitete dann in einem Hauptdurchlauf das Material. Anschließend wurde wiederum eine Zufallsstichprobe ( $N = 10$ ) von Codierer A bearbeitet und darauf basierend die Intercoder-Übereinstimmung errechnet.

#### *9.3.1.3.2 Kategoriensystem*

Sieben der elf Hauptkategorien stimmen mit den Hauptkategorien von Hofheinz (2008) überein. Auf Ebene der Subkategorien ergaben sich einzelne Veränderungen. So findet sich beispielsweise bei Hofheinz unter der Hauptkategorie „Mythos der naturwissenschaftlichen Methode“ die Subkategorie „Es gibt nicht die Methode“ als eher elaborierte Ansicht (vgl. Anhang, S. 332). Entsprechende Äußerungen waren in den offenen Items der Vorstudie nicht zu finden. Diese Subkategorie wurde deshalb nicht in das Kategoriensystem aufgenommen.

---

<sup>7</sup> Bei den Codierern handelt es sich um den Autor sowie ein wissenschaftliche Hilfskraft.

Beim Codieren wurde so vorgegangen, dass eine festgestellte eher angemessene bzw. unangemessene Ansicht nur jeweils einmal je Studienteilnehmer/in registriert wurde, auch wenn sie mehrere Male über alle offenen Items hinweg geäußert wurde. Welche Ansichten als angemessen oder unangemessen codiert wurden, ergab sich in den meisten Fällen aufgrund der Zuordnung zu einer der Subkategorien, die sich an den im Forschungsfeld der Nature of Science aus langjährig geführten Diskussionen und der aus der Wissenschaftstheorie abgeleiteten Setzungen (vgl. Kapitel 3.1.2) orientiert. So deutet beispielsweise die Aussage *„Wissenschaftler benutzen Theorien, Formeln und Geräte wie Messinstrumente, Mikroskope, um das Aussehen von Atomen zu bestimmen“* darauf hin, dass hier die unangemessene Vorstellung der Möglichkeit der direkten Beobachtung von Atomen als etwas unmittelbar Faktischem und weniger die Vorstellung von Atomen als Modell existiert.

In Zweifelsfällen wurde mit Experten diskutiert, inwiefern einzelne Vorstellungen als angemessen und unangemessen codiert wurden. Dabei wurde auch immer abgewogen, inwiefern in Detailfragen eine wissenschaftstheoretisch vertretbare bzw. eine für den Schulunterricht angemessene Vorstellung vorliegt (vgl. dazu die Diskussion um die Angemessenheit von Ansichten im Forschungsfeld der Nature of Science, Kapitel 3.1.2). Beispielsweise wurde die folgende Aussage bezüglich ihrer Angemessenheit im Hinblick auf Wissenschaftstheorie bzw. Schulunterricht diskutiert: *„Eine Theorie wird immer wieder anhand von Hypothesen überprüft und verifiziert. Stellen sich diese jedoch in ihrem Gesamtzusammenhang als falsch dar, kann sich die Theorie auch verändern.“* Diese Aussage ist zwar aus Sicht des kritischen Rationalismus nicht haltbar, da nach Karl Popper Theorien nur falsifiziert aber nicht verifiziert werden können. Mit Blick auf die schulische Relevanz wurde diese Aussage dennoch in der Hauptkategorie *„Vorläufigkeit“* der Subkategorie *„Theorienwandel bei neuen Belegen“* zugeordnet, da die Aussage darauf hinweist, dass die/der Untersuchungsteilnehmende von Veränderbarkeit von Theorien durch neue Erkenntnisse ausgeht. Entsprechend gilt diese Ansicht als angemessen.

Im Folgenden werden die Hauptkategorien der NOS-Ansichten beschrieben und an exemplarischen Ankerbeispielen einzelner Subkategorien vorgestellt. Bei den Beschreibungen der Kategorien handelt es sich im Wesentlichen um Übersetzungen nach Lederman et al. (2002). Bei den Benennungen der Haupt- und Subkategorien erfolgte eine Orientierung an Hofheinz (2008), der sich bei der qualitativen Auswertung von NOS-Ansichten ebenfalls an Lederman et al. orientiert. Im Anhang (S. 330) findet sich das Kategoriensystem mit jeweils einem Ankerbeispiel zu jeder Subkategorie.

*Hauptkategorie: Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle*

- Grundlegende Überlegungen zu dieser Kategorie:  
Bei dieser Kategorie geht es um die Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung. Beobachtungen sind beschreibbar und dem Sinnesapparat bzw. mit Hilfe von Sinneserweiterungen direkt zugänglich. Beobachter können relativ einfach Konsens über die Beschreibungen gemeinsam gemachter Beobachtungen erlangen. Im Unterschied dazu handelt es sich bei Schlussfolgerungen um Aussagen über Phänomene, die unseren Sinnen nicht direkt zugänglich sind. Die Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung gilt als Grundlage für eine angemessene Vorstellung von Modellen bzw. theoretischen Entitäten, wie z.B. Atomen, Photonen, Magnetfeldern oder Gravitationskräften.
- Beispiel für eine eher angemessene Ansicht (Subkategorie: Atome/Energie als Konstrukt (nicht sichtbar)): *„Meines Wissens ist es nicht möglich, Vorgänge auf atomarer Ebene sichtbar zu machen. Teilchenbeschleuniger (DESY in Hamburg, CERN in Genf) bestätigen jedoch mehr und mehr die wissenschaftlichen Annahmen.“*
- Beispiel für eine eher unangemessene Ansicht (Subkategorie: Atome/Energie als Fakten (z. B. Mikroskop, Anziehungskräfte etc.)): *„Ich denke, dass Physiker Beobachtungen mit dem Mikroskop oder mit dem bloßen Auge sichtbaren - Bereichen nutzen, um das Atommodell darzustellen.“*

*Hauptkategorie: Empirische Basis*

- Grundlegende Überlegungen zu dieser Kategorie:  
Die in dieser Kategorie erfassten Antworten beziehen sich auf Ansichten zur empirischen Basis der Naturwissenschaften. Es wird davon ausgegangen, dass die Naturwissenschaften zumindest in Teilen auf Beobachtungen der natürlichen Welt basieren. Die Gültigkeit naturwissenschaftlicher Aussagen bezieht sich dabei auf die Beobachtung von Phänomenen. Trotzdem haben Forscher keinen direkten Zugriff auf viele Phänomene, denn Beobachtungen werden entweder durch den menschlichen Wahrnehmungsapparat oder durch komplexe Instrumentarien gefiltert, aus einem ausgearbeiteten Theorierahmen heraus betrachtet oder werden begleitet von einer Vielzahl an Annahmen, auf die die Funktionsweisen der Instrumente gründen.
- Beispiel für eine eher angemessene Ansicht (Subkategorie: Interpretation systematischer Beobachtungen): *„Sie tragen die verschiedenen Erkenntnisse der vielen Wissenschaftler und der vielen Experimente zusammen und ziehen daraus Schlüsse.“*
- Beispiel für eine eher unangemessene Ansicht (Subkategorie: Fakten der Natur): *„Es geht nicht um Begründen und Interpretieren, sondern um Fakten, die anhand von Daten begründet und bewiesen werden können.“*

### *Kreativität und Vorstellungskraft*

- Grundlegende Überlegungen zu dieser Kategorie:  
Obwohl die Naturwissenschaften eine empirische Basis haben und die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens die Beobachtung der Natur erfordert, benötigt es auch Vorstellungskraft und Kreativität, um naturwissenschaftliches Wissen hervorzubringen. Dabei sind die Naturwissenschaften entgegen häufig anzutreffender Vorstellungen nicht komplett leblos oder durchweg rational. Die Naturwissenschaften umfassen die Erfindung und Entwicklung von Erklärungen und theoretischer Entitäten, die von den Wissenschaftlern ein hohes Maß an Kreativität abfordern.
- Beispiel für eine eher angemessene Ansicht (Subkategorie: Atom, Energie: (kreatives) Konstrukt): *„Das Bild vom Atom ist eine Konstruktion, die der "Realität" nicht entspricht, aber eine Vorstellung befördert, mit der man arbeiten kann.“*
- Beispiel für eine eher unangemessene Ansicht (Subkategorie: keine Kreativität): *„Ich glaube eher nicht, dass Naturwissenschaftler Kreativität und Vorstellungskraft nutzen. In der Physik muss alles belegbar gemacht werden und dies kann die Kreativität nicht. Man möchte belegen mit welcher elektrischen Spannung ein Blitz in den Boden schlägt und dabei kann man sich nicht auf kreative Gedanken verlassen.“*

### *Subjektivität/Theoriegebundenheit*

- Grundlegende Überlegungen zu dieser Kategorie:  
Orientiert an der Vorgehensweise von Hofheinz (2008) werden in dieser Hauptkategorie zwei Kategorien aus dem Kategoriensystem von Lederman et al. (2002) zusammengeführt. Zum einen handelt es sich um den Aspekt der Theoriegebundenheit bzw. Theoriegebundenheit und zum anderen um den Aspekt der sozialen und kulturellen Eingebundenheit von Forschung.  
Naturwissenschaftliches Wissen ist theoriegebunden. Die theoretischen und disziplinären Bindungen von Wissenschaftlern, ihre Überzeugungen, ihr Vorwissen, ihre Ausbildung, ihre Erfahrungen und ihre Erwartungen beeinflussen ihre Arbeit. All diese Faktoren bilden eine Denkweise heraus, die beeinflusst, welche wissenschaftlichen Fragen und Probleme von einem Forscher und auf welche Weise sie untersucht werden, was sie beobachten und wie sie diese Beobachtungen interpretieren. Entgegen einer häufig anzutreffenden Vorstellung beginnen naturwissenschaftliche Untersuchungen nicht mit neutralen Beobachtungen.  
Des Weiteren praktizieren Forscher im Rahmen ihrer Kultur, durch die sie beeinflusst werden. Die Naturwissenschaften beeinflussen Kultur mit ihren verschiedenen Elementen und intellektuellen Sphären und werden wiederum durch diese Kultur beeinflusst, in die sie eingebettet sind.
- Beispiel für eine eher angemessene Ansicht (Subkategorie: Forschung soziokulturell beeinflusst): *„Erkenntnisinteresse ist u. a. auf Sinnhaftigkeit angelegt oder zumindest mit „kulturellen Werten verknüpft.“*

- Beispiel für eine eher unangemessene Ansicht (Subkategorie: Universell (z. B. weil Fakten überall gleich)): „*Die Naturwissenschaften sind universell: das Kraftgesetz  $F=m \cdot a$  z. B. ist überall anerkannt, egal wo man ist.*“

#### *Naturwissenschaftliche Theorien und Gesetze*

- Grundlegende Überlegungen zu dieser Kategorie:  
Naturwissenschaftliche Theorien sind etablierte, hochgradig begründete und konsistente Erklärungssysteme. Theorien dienen dazu, eine große Anzahl an scheinbar unabhängigen Beobachtungen zu erklären. Darüber hinaus spielen Theorien eine Hauptrolle bei der Generierung von Forschungsfragen. Naturwissenschaftliche Theorien basieren häufig auf einer Reihe an Annahmen und Axiomen und setzen die Annahme von nicht beobachtbaren Entitäten voraus. Theorien können deshalb nicht direkt überprüft werden. Nur indirekte Beweise können eine Theorie unterstützen und ihre Gültigkeit begründen. Forscher leiten aus Theorien Vorhersagen ab und überprüfen diese anhand konkreter Daten. Die Übereinstimmung zwischen solchen Vorhersagen und den empirischen Belegen dient dazu, den Grad an Sicherheit in die überprüfte Theorie zu erhöhen.  
Ähnlich wie mit der Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung verhält es sich mit der Unterscheidung zwischen Theorien und Gesetzen. Im Allgemeinen kann man Gesetze als beschreibende Aussagen über Verhältnisse zwischen beobachtbaren Phänomenen verstehen. Im Unterschied dazu sind Theorien abgeleitete Erklärungen zu beobachtbaren Phänomenen. Es finden sich häufig zwei unangemessene Vorstellungen zum Verhältnis zwischen Theorien und Gesetzen. Zum einen existiert die vereinfachte Vorstellung eines hierarchischen Verhältnisses, bei dem abhängig von der Beweisbarkeit aus Theorien Gesetze werden. Zum anderen existiert die Überzeugung, dass Gesetze einen höheren Status als Theorien haben. Als angemessen gilt die Vorstellung, dass Theorien und Gesetze unterschiedliche Arten von Wissen sind und dass das eine sich nicht zum anderen wandeln kann. Theorien sind gleichwertige Ergebnisse der Naturwissenschaften genauso wie Gesetze.
- Beispiel für eine eher angemessene Ansicht (Subkategorie: Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage): „*Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden dann in Naturgesetzen dargelegt, um die Vorgänge in der Natur zu beschreiben.*“
- Beispiel für eine eher unangemessene Ansicht (Subkategorie: Hierarchisches Verhältnis): „*Ich denke, dass physikalische Theorien noch nicht weitgehend bewiesen wurden, um ein physikalisches Gesetz zu sein.*“

#### *Vorläufigkeit*

- Grundlegende Überlegungen zu dieser Kategorie:  
Naturwissenschaftliches Wissen ist trotz seiner Reliabilität und Beständigkeit niemals absolut und sicher. Das Wissen, das Fakten, Theorien und Gesetze beinhaltet, unterliegt Veränderungen.

Die Vorläufigkeit des Wissens in den Naturwissenschaften entsteht nicht nur aufgrund der Tatsache, dass das Wissen inferentiell, kreativ sowie sozial und kulturell eingebettet ist. Entgegen gängigen Vorstellungen können unabhängig von der Menge an unterstützenden Beweisen Hypothesen, Theorien und Gesetze nie absolut und letztendlich bewiesen werden.

- Beispiel für eine eher angemessene Ansicht (Subkategorie: Theorienwandel bei neuen Belegen): *„Die Überprüfung von Theorien kann unterschiedliche Ergebnisse hervorbringen. So kann es sein, dass Theorien neu überdacht werden müssen, wenn entsprechende neue Erkenntnisse vorliegen.“*
- Beispiel für eine eher unangemessene Ansicht (Subkategorie: kein Theorienwandel): *„Ich glaube, dass sich Theorien in der Physik nicht verändern. Ich glaube, dass die Theorien, die bereits entwickelt wurden, soweit stabil sind, dass sie keiner Überarbeitung bedürfen.“*

Beim Codieren einiger Aussagen/Ansichten ergaben sich Überschneidungen bezüglich der Sub- und Hauptkategorien. So wurden in der Subkategorie „Atome/Energie als Konstrukt (nicht sichtbar) in der Hauptkategorie „Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle“ solche Ansichten/Aussagen erfasst, in denen der schlussfolgernde Charakter der Modell- und Theoriebildung, welcher auf Beobachtungen beruht, deutlich wird. Wenn zugleich die Rolle der Vorstellungskraft und/oder der Kreativität der forschenden Wissenschaftler in diesem Zusammenhang erwähnt wurde, wurde die Aussage auch in der Kategorie „Kreativität & Vorstellungskraft“ in der Subkategorie „Atom, Energie: (kreatives) Konstrukt/Fiktion“ erfasst. Folgende Aussage eines Studienteilnehmers mit studiertem Fach Physik ist hierfür ein Beispiel:

*„Die dargestellte Struktur ist ein Modell. Die Wirklichkeit kann von uns nicht beobachtet werden. Die heutigen Theorien sind nicht alle experimentell entstanden, und nur teilweise experimentell nachgewiesen. Also benutzen Wissenschaftler Modellvorstellungen, die geändert werden, wenn sie nicht tragfähig sind. Physikalische Gesetze sind Abhängigkeiten zwischen Größen. Diese können grundsätzlich gemessen werden (z. B. in einem Experiment) und sind meist mathematisch beschreibbar.“* (Tln 144)

Zugleich wurden vier ergänzende Kategorien für die Auswertung der Antworten in das Kategoriensystem aufgenommen, welche in Tabelle 9.5 kursiv dargestellt sind. In der Kategorie „Beispiele“ wurden nach verschiedenen Teildisziplinen der Physik Subkategorien gebildet (Mechanik, Teilchenphysik usw.) und Beispiele erfasst, mit denen Ansichten begründet wurden, um nachvollziehen zu können, über welches Fachwissen die Teilnehmenden verfügten und wie sie dieses Fachwissen einsetzten, um ihre Ansichten zu begründen. In den Kategorien „Quelle zu Wissen über Entstehung des Universums“ und „Woher möglichst sicheres Wissen?“ wurde in sieben bzw. sechs Subkategorien erfasst, aus welcher Quelle die Teilnehmenden Wissen über die Entstehung des Universums bezogen haben bzw. welche Informationsquelle(n) sie nutzen würden, um möglichst sicheres Wissen zu beziehen. Ferner wurde in einer separaten

Kategorie erfasst, wenn die Teilnehmenden explizit angegeben hatten, keine Ahnung zu haben, wenn sie Ratings quantitativer Items in offenen Items begründen sollten.

#### 9.3.1.3.3 Intercoder-Übereinstimmung

Zur Überprüfung der Intercoder-Übereinstimmung wurde der Koeffizient nach Holsti genutzt (vgl. Rössler, 2010, S. 197–205), der die prozentuale Übereinstimmung bei paarweisen Vergleichen angibt. Der Koeffizient ( $C_R$ ) errechnet sich anhand der Anzahl an übereinstimmender Codierungen ( $C_{\bar{U}}$ ) und der Anzahl an Codierungen von Codierer A ( $C_A$ ) und Codierer B ( $C_B$ ) folgendermaßen:

$$C_R = \frac{2 \cdot C_{\bar{U}}}{(C_A + C_B)}$$

Bei diesem Koeffizienten gelten Übereinstimmung von über 80 % als gut und bei komplexen Sachverhalten Werte über 75 % als akzeptabel. Tabelle 9.5 zeigt die Hauptkategorien und deren Intercoder-Übereinstimmung. Die Gesamtübereinstimmung zwischen den Codierern mit einem Koeffizienten von  $C_R = .88$  kann als gut gewertet werden.

**Tabelle 9.5:** Hauptkategorien mit Angabe der Anzahlen der Subkategorien und der Intercoder-Übereinstimmung nach Holsti

Hauptkategorien	Anzahl der Subkategorien	Intercoder-Übereinstimmung (nach Holsti)
Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle	9	.87
Empirische Basis	7	.85
Kreativität & Vorstellungskraft	4	.90
Ansichten zur „naturwissenschaftlichen Methode“	3	.85
Subjektivität/Theoriegebundenheit	7	.81
Theorien & Gesetze	12	.89
Vorläufigkeit	5	.83
<i>Beispiele</i>		.98
<i>Quelle zu Wissen über Entstehung des Universums</i>	7	.94
<i>Woher möglichst sicheres Wissen?</i>	6	.90
<i>„keine Ahnung“</i>		.99
<b>gesamt</b>		<b>.88</b>



### 9.3.2 Analyse des Wissenschaftsverständnisses

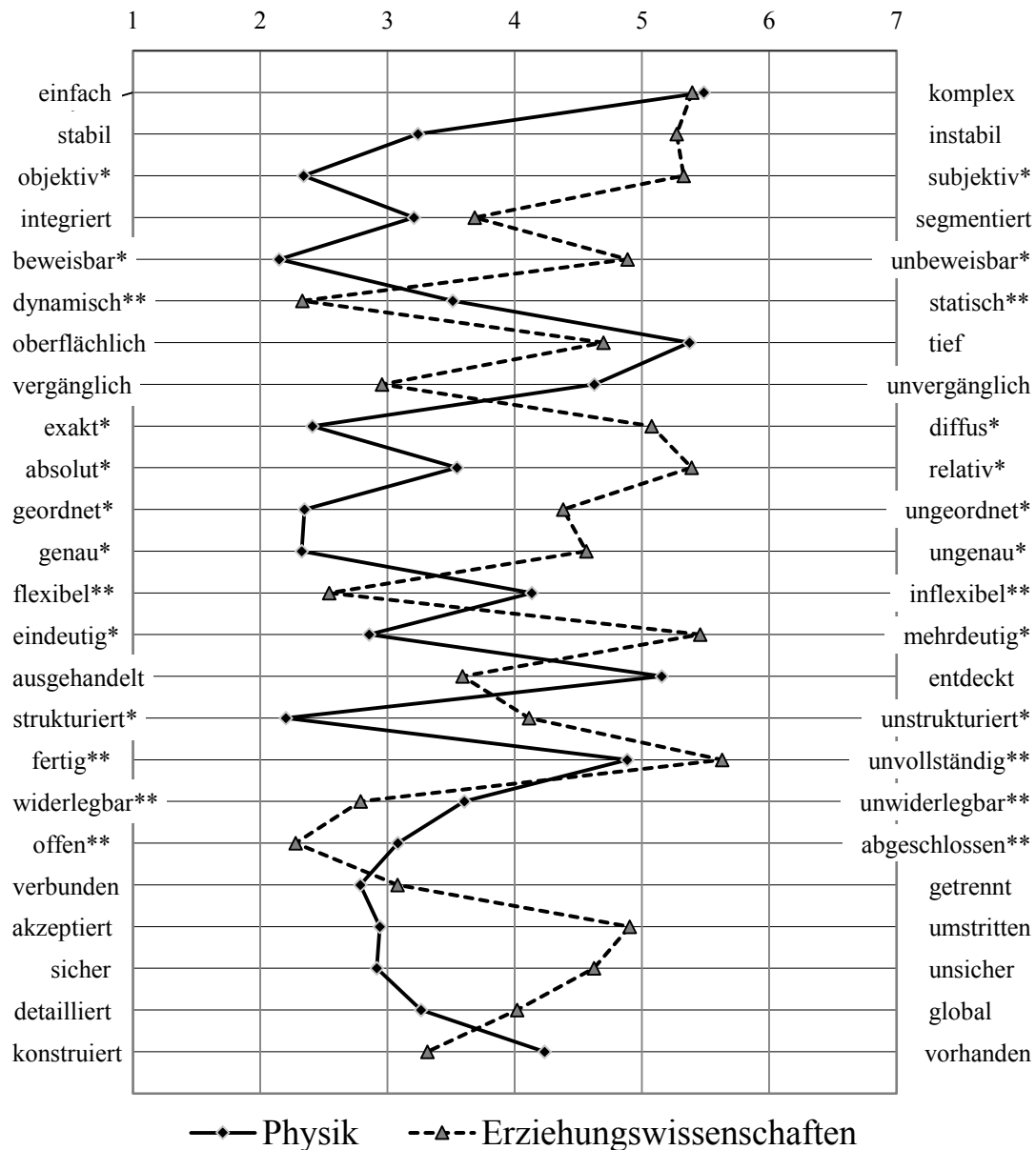
#### 9.3.2.1 Vergleich der disziplinspezifischen epistemischen Urteile zu Wissen in Physik und Wissen in den Erziehungswissenschaften/Pädagogik

Die erste Forschungsfrage der Vorstudie bezieht sich unter anderem auf die Unterschiede zwischen der Bildung epistemischer Urteile in den Disziplinen Physik und Erziehungswissenschaften/Pädagogik. Abbildung 9.1 zeigt die beiden Polaritätsprofile der epistemischen Urteile in Physik und Erziehungswissenschaften/ Pädagogik, die sich für jedes Item durch den Eintrag der Mittelwerte auf dem Kontinuum zwischen den sich gegenüberstehenden Konnotationen ergeben.

Der Vergleich der Profile ermöglicht die detaillierte Analyse auf Itemebene. Die Polaritätsprofile zeigen im Vergleich der Disziplinen Physik und Erziehungswissenschaft/Pädagogik größtenteils stark divergierende epistemische Urteile. So wird Wissen in Physik beispielsweise als eher stabil ( $M = 3.22$ ,  $SD = 1.55$ ), objektiv ( $M = 2.36$ ,  $SD = 1.29$ ), exakt ( $M = 2.43$ ,  $SD = 1.33$ ) und sicher ( $M = 2.93$ ,  $SD = 1.23$ ) beurteilt. Dagegen wird Wissen in Erziehungswissenschaft/Pädagogik als eher instabil ( $M = 5.27$ ,  $SD = 1.31$ ), subjektiv ( $M = 5.33$ ,  $SD = 1.26$ ), diffus ( $M = 5.07$ ,  $SD = 1.11$ ) und unsicher ( $M = 4.62$ ,  $SD = 1.19$ ) eingeschätzt. Einzelne Items zeigen bei der Beurteilung von Wissen in Physik und Erziehungswissenschaft/Pädagogik vergleichsweise geringe Unterschiede. So wird das Wissen in beiden Disziplinen als ähnlich tief (Erziehungswissenschaft/Pädagogik:  $M = 4.70$ ,  $SD = 1.49$ ; Physik:  $M = 5.36$ ,  $SD = 1.34$ ) oder ähnlich unvollständig beurteilt (Erziehungswissenschaft/Pädagogik:  $M = 5.62$ ,  $SD = 1.06$ ; Physik:  $M = 4.87$ ,  $SD = 1.56$ ). Im Polaritätsprofil fällt auf, dass das Wissen beider Disziplinen als ähnlich komplex beurteilt wird (Erziehungswissenschaft/Pädagogik:  $M = 5.38$ ,  $SD = 1.58$ ; Physik:  $M = 5.45$ ,  $SD = 1.33$ )

Bei den im Diagramm mit einem Stern gekennzeichneten Adjektiven handelt es sich um die Items der Skala Textur. Die mit zwei Sternen gekennzeichneten Adjektivpaare bilden die Skala Variabilität. Zwei  $t$ -Tests für abhängige Stichproben wurden gerechnet, um die Dimensionen Textur und Variabilität der beiden Disziplinen zu vergleichen. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p = .025$  ( $.05/2$ ) angepasst, um eine Kumulierung des Alphafehlers bei mehrfacher Testung zu vermeiden.

Die epistemischen Urteile der Studienteilnehmer in der Dimension Textur zum Wissen in Physik ( $M = 2.54$ ,  $SD = 0.89$ ) unterscheiden sich hochsignifikant von epistemischen Urteilen zum Wissen in den Erziehungswissenschaften ( $M = 4.90$ ,  $SD = 0.80$ ),  $t(207) = -29.18$ ,  $p < .000$ . Die Effektstärke ist mit  $d_z = 2.02$  hoch. Die Teilnehmer beurteilten demnach Wissen in Physik als deutlich objektiver, beweisbarer, exakter und genauer als in den Erziehungswissenschaften.



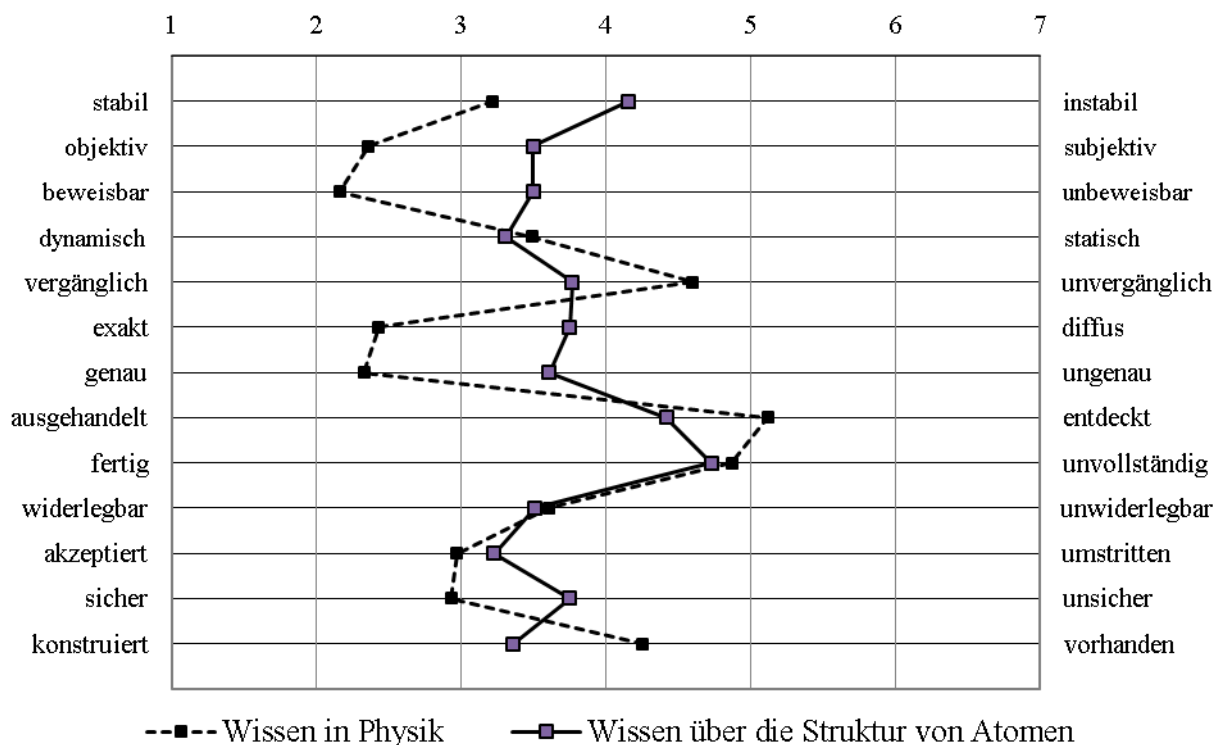
**Abbildung 9.1:** Polaritätsprofile des semantischen Differentials des CAEB: disziplinspezifische epistemische Urteile zum Wissen in Physik und Erziehungswissenschaften/Pädagogik

Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich im Vergleich der Disziplinen bei der Bildung epistemischer Urteile in der Dimension Variabilität. Die Studienteilnehmer beurteilten Wissen in Physik ( $M = 4.52$ ,  $SD = 1.08$ ) ebenfalls hochsignifikant anders als Wissen in den Erziehungswissenschaften ( $M = 5.54$ ,  $SD = 0.79$ ),  $t(206) = -12.08$ ,  $p < .000$ . Auch hier zeigt sich ein hoher Effekt von  $d_z = .84$ . Insgesamt schätzen die Studienteilnehmer also Wissen in Physik im Vergleich zu Wissen in den Erziehungswissenschaften als eher statisch, inflexibel, fertig und unwiderlegbar ein. Die großen Unterschiede bei der Bildung epistemischer Urteile in den Disziplinen Physik und Erziehungswissenschaft weisen auf die Disziplinspezifität epistemischer Urteile hin.

### 9.3.2.2 Vergleich von disziplin- und themenspezifischen epistemischen Urteilen

Epistemische Urteile werden als kontext- und themensensibel beschrieben (vgl. Kapitel 2.1.3). Ausgehend von dieser Annahme wurden disziplinspezifische epistemische Urteile zum Wissen in Physik mit themenspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen verglichen. Verglichen wurden also disziplinübergreifende epistemische Urteile mit epistemischen Urteilen zu einem Teilbereich der modernen Physik.

Beim Vergleich der Items der epistemischen Urteile zum Wissen in Physik und den Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen anhand der Polaritätsprofile, die in Abbildung 9.3 dargestellt sind, wird einerseits deutlich, dass die Differenzen der Mittelwerte der erhobenen disziplinspezifischen bzw. -übergreifenden und den themenspezifischen epistemischen Urteilen nicht so groß sind, wie die Differenzen der Mittelwerte der disziplinspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen in Physik und zum Wissen in Erziehungswissenschaften/Pädagogik. Die kleinsten Differenzen finden sich bei den Items „widerlegbar – unwiderlegbar“ (Wissen in Physik:  $M = 3.61$ ,  $SD = 1.59$ ; Wissen über die Struktur von Atomen:  $M = 3.51$ ,  $SD = 1.41$ ), „fertig – unvollständig“ (Wissen in Physik:  $M = 4.87$ ,  $SD = 1.56$ ; Wissen über die Struktur von Atomen:  $M = 4.73$ ,  $SD = 1.57$ ) und „dynamisch – statisch“ (Wissen in Physik:  $M = 3.49$ ,  $SD = 1.61$ ; Wissen über die Struktur von Atomen:  $M = 3.31$ ,  $SD = 1.44$ ).



**Abbildung 9.2:** Polaritätsprofile des semantischen Differentials des CAEB: Vergleich von disziplinspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen in Physik und themenspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen

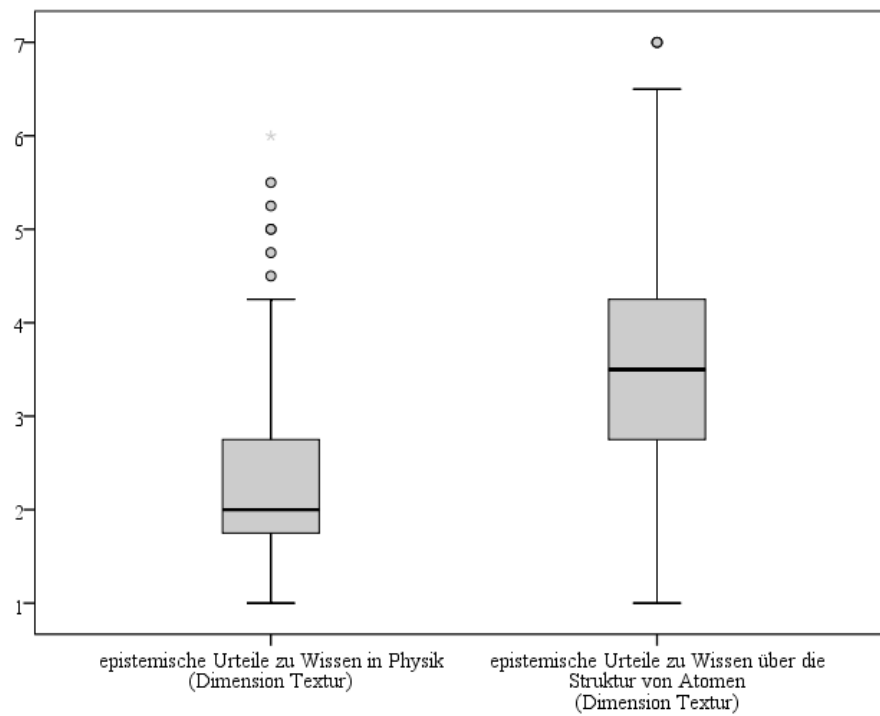
Andererseits sind beim Vergleich der Mittelwerte zwischen disziplinspezifischen und themenspezifischen Urteilen auf Itemebene ebenfalls größere Differenzen zu erkennen. Die größten Differenzen finden sich bei den Items „genau - ungenau“ (Wissen in Physik:  $M = 2.33$ ,

$SD = 1.07$ ; Wissen über die Struktur von Atomen:  $M = 3.61$ ,  $SD = 1.36$ ), „exakt – diffus“ (Wissen in Physik:  $M = 2.43$ ,  $SD = 1.33$ ; Wissen über die Struktur von Atomen:  $M = 3.57$ ,  $SD = 1.39$ ) und „beweisbar – unbeweisbar“ (Wissen in Physik:  $M = 2.16$ ,  $SD = 1.23$ ; Wissen über die Struktur von Atomen:  $M = 3.50$ ,  $SD = 1.54$ ).

Bei der Erstellung des Fragebogens stand bei der Auswahl der CAEB-Items zur Erhebung der epistemischen Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen primär die inhaltliche Passung zum thematischen Kontext im Vordergrund und weniger die Auswahl nach den im CAEB enthaltenen Skalen *Textur* und *Variabilität*. Von den 13 ausgewählten Items gehören im ursprünglichen Erhebungsinstrument CAEB vier zur Skala *Textur* („genau – ungenau“, „objektiv – subjektiv“, „beweisbar – unbeweisbar“, „exakt – diffus“) und drei zur Skala *Variabilität* („widerlegbar – unwiderlegbar“, „dynamisch – statisch“, „fertig – unvollständig“). Durch die Überprüfung der inneren Konsistenz wurde ermittelt, ob die vier bzw. drei Items auch jeweils eine verlässliche Skala bilden, um gegebenenfalls auf Skalenebene die epistemischen Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen mit den disziplinspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen in Physik zu vergleichen. Die durchgeführten Reliabilitätsanalysen der itemreduzierten Skalen *Textur* ( $\alpha = .85$ ) und *Variabilität* ( $\alpha = .71$ ) zeigen ebenso gute bzw. zufriedenstellende Werte der Reliabilität (vgl. Anhang, S. 325). Um die Vergleichbarkeit der CAEB-Skalen zwischen den epistemischen Urteilen zu Wissen in Physik und den epistemischen Urteilen zu Wissen über die Struktur von Atomen zu gewährleisten, wurde zum Zwecke der Durchführung von *t*-Tests mit den Items der disziplinspezifischen Urteilen („Wissen in Physik ist...“) ebenso Skalen gebildet, die dieselben oben aufgeführten Items enthalten, wie die itemreduzierten Skalen der epistemischen Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen.

Es wurden zwei beidseitige *t*-Tests für abhängige Stichproben durchgeführt und das Alphaniveau auf  $p = .025$  ( $.05/2$ ) adjustiert.

In der Dimension *Variabilität* lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den disziplinspezifischen und themenspezifischen epistemischen Urteilen feststellen. Die Studienteilnehmenden beurteilten disziplinübergreifendes Wissen in Physik ( $M = 4.56$ ,  $SD = 1.14$ ) im Vergleich zu Wissen im spezifischen Kontext Atomphysik ( $M = 4.64$ ,  $SD = 1.17$ ) als ähnlich variabel,  $t(201) = -.85$ ,  $p = .40$ .



**Abbildung 9.3:** Vergleich disziplin- und themenspezifischer epistemischer Urteile

Beim Vergleich der Dimensionen Textur (Abbildung 9.3) zeigte sich dagegen ein hochsignifikanter Unterschied mit hoher Effektstärke zwischen den disziplinspezifischen epistemischen Urteilen in Physik ( $M = 2.31$ ,  $SD = 0.95$ ) und den themenspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen ( $M = 3.59$ ,  $SD = 1.19$ ),  $t(202) = -14.71$ ,  $p < .000$ ,  $d_z = 1.03$ .

Die Studienteilnehmer beurteilten demnach themenspezifisches Wissen über die Struktur von Atomen im Vergleich zu disziplinspezifischem Wissen in Physik als ungenauer, subjektiver, unbeweisbarer und diffuser.

### 9.3.2.3 Unterschiede im Wissenschaftsverständnis zwischen Gruppen mit unterschiedlichem Fachwissen

Folgende zweite leitende Fragestellungen wurde in der Vorstudie untersucht: *Besteht ein Unterschied im Wissenschaftsverständnis in Physik bei zukünftigen und ausgebildeten Lehrkräften im Hinblick auf die Schulart und dem studierten Fach (mit Physik/ohne Physik)?* Um diese Fragestellung differenziert beantworten zu können, wurde zunächst das Wissenschaftsverständnis auf Skalenebene und auf Ebene der qualitativen Daten separat untersucht, um danach etwaige Zusammenhänge zwischen den geschlossenen und offenen Antworten zu analysieren.

*Gruppenunterschiede auf Skalenebene*

Um eine Kumulierung des Alphafehlers zu vermeiden, wurde auf Skalenebene eine zweifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit den beiden Faktoren studiertes Fach (Physiker/Nichtphysiker<sup>8</sup>) und Schulart durchgeführt. Als abhängige Variablen wurden die folgenden Skalen aufgenommen:

- epistemische Urteile zu Wissen in Physik (Dimensionen Textur/Variabilität)
- epistemische Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen (Dimensionen Textur/Variabilität)
- Epistemische Urteile im Umgang mit wissenschaftlichen Kontroversen (Dimensionen Sicherheit/Quelle)
- Ansichten zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft in Physik
- Ansichten zur soziokulturellen Eingebundenheit der Naturwissenschaften
- Ansichten zur Frage, ob Theorien entdeckt oder erfunden werden
- Ansichten zur Frage, ob Gesetze entdeckt oder erfunden werden

Die Voraussetzung der Normalverteilung ist bei einigen Merkmalen nicht gegeben, was jedoch aufgrund der Stichprobengröße und der Schiefe der Verteilungen zu vernachlässigen ist (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 214). Da die Zellbesetzung bei der Gruppe der Berufsschullehrkräfte klein war ( $N = 8$ ), wurde diese Gruppe nicht in der MANOVA berücksichtigt. Bei der Überprüfung der Varianzhomogenität anhand des Levene-Tests zeigte sich die Gleichheit der Populationsvarianzen ( $p > .05$ ). Eine weitere Voraussetzung zur Durchführung einer multivariaten Varianzanalyse ist die Gleichheit der Varianz-Kovarianzmatrizen der abhängigen Variablen, die mit dem Box's M-Test überprüft wurde. Der Box's M-Test wurde bei einem Alphaniveau von  $p < .05$  signifikant. Da der Box's M-Test sehr sensibel ist, gilt erst ein hochsignifikantes Ergebnis ( $p < .001$ ) als problematisch (vgl. Mayers, 2013, S. 323). Dies war im Falle der hier durchgeführten MANOVA nicht gegeben.

In der MANOVA ließen sich bezüglich der Gruppenunterschiede Physiker/Nichtphysiker,  $F(10, 145) = 1.04, p = .42$ , sowie Schulart,  $F(30, 441) = .98, p = .50$ , weder Haupt- noch Interaktionseffekte feststellen,  $F(30, 441) = .59, p = .96$ . Deshalb wurden keine weiteren univariate Analysen an den Globaltest angeschlossen.

*Gruppenunterschiede der offenen Antworten*

Zunächst wurde ermittelt, ob sich Gruppenunterschiede im Hinblick auf den quantitativen Umfang der produzierten Texte ergeben.

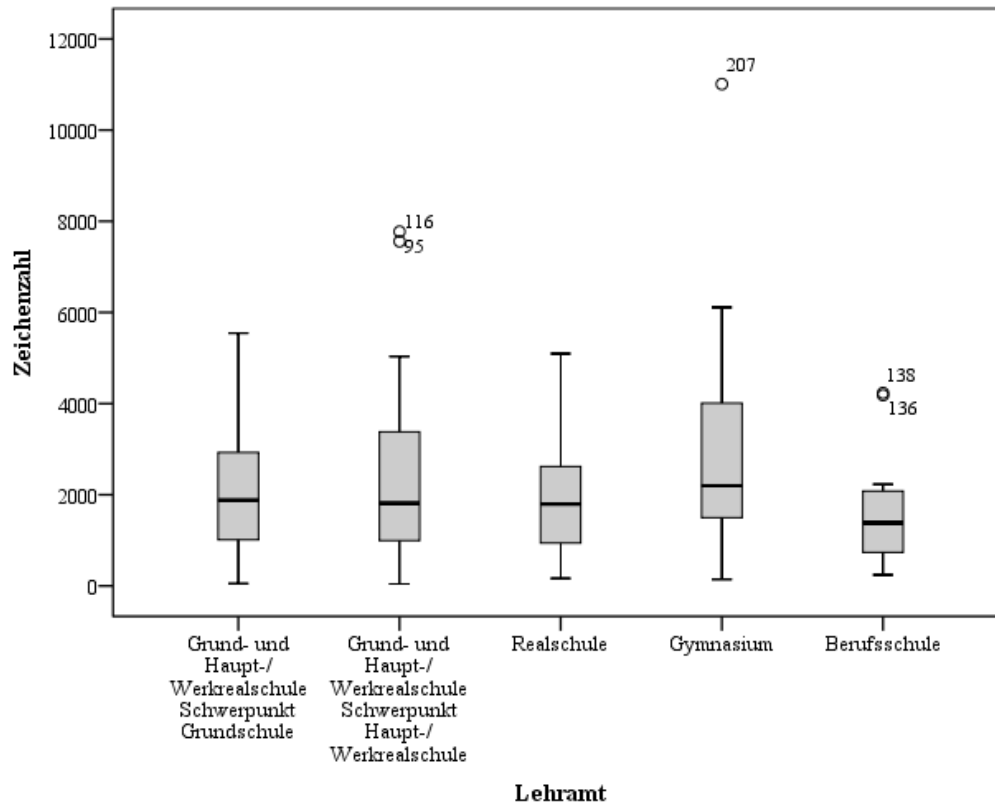
In der gesamten Stichprobe ( $N = 211$ ) produzierten die Untersuchungsteilnehmer durchschnittlich Text im Umfang von  $M = 2124.62$  Zeichen ( $SD = 1570.92$ ,  $Mdn = 1891.00$ ,  $Min = 42$ ,  $Max = 11010$ ). Die Spannweite von  $R = 10968$  Zeichen in der gesamten Stichprobe deuten auf

---

<sup>8</sup> Zukünftige und ausgebildete Lehrkräfte mit und ohne dem studierten Fach Physik werden im Folgenden der Einfachheit halber als *Physiker* und *Nichtphysiker* bezeichnet.

große Unterschiede im Umfang der Begründungen beim Elaborieren des Wissenschaftsverständnisses hin.

Bei den in Abbildung 9.4 und Abbildung 9.5 zu erkennenden Ausreißer bzw. Extremwert handelt es sich um eine Lehrkraft des Gymnasiums mit studiertem Fach Physik.



**Abbildung 9.4:** Zeichenzahl offener Items im Vergleich zwischen den Schularten

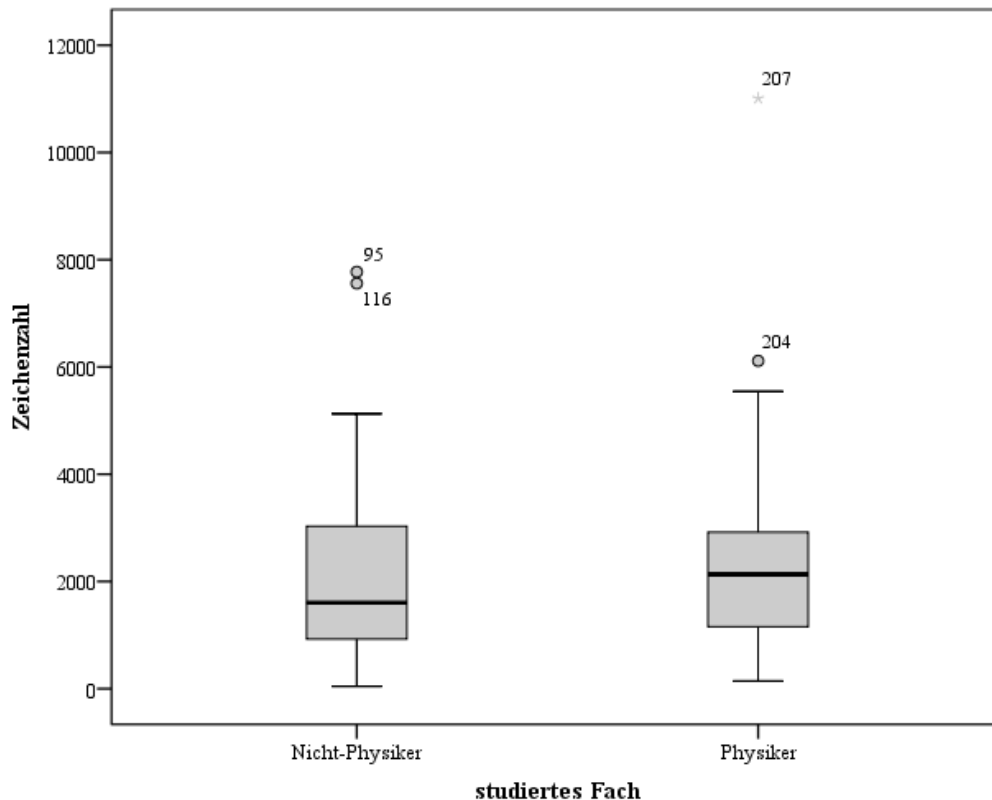
Abbildung 9.4 zeigt die Verteilung der produzierten Anzahl an Zeichen im Vergleich zwischen den Schularten. Es zeigt sich die Tendenz, dass zukünftige und praktizierende Lehrkräfte des Gymnasiums mehr Text bei der Beantwortung der offenen Items produziert haben.

Durch Signifikanztests wurde untersucht, ob sich die Textumfänge systematisch zwischen den Gruppen unterscheiden. Wegen der Ausreißer, der unterschiedlichen Zellbesetzungen und fehlender Varianzhomogenität wurden nichtparametrische Verfahren genutzt, um den Umfang der Textproduktion sowohl zwischen den Lehrämtern sowie Physikern und Nichtphysikern zu vergleichen.

Das Ergebnis einer Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse, in der die Zeichenanzahl zwischen den verschiedenen Lehrämtern ( $M_{GS} = 2030.83$ ,  $SD_{GS} = 1327.80$ ;  $M_{HWRS} = 2231.65$ ,  $SD_{HWRS} = 1755.81$ ;  $M_{RS} = 1925.39$ ,  $SD_{RS} = 1155.28$ ;  $M_{GYM} = 2927.35$ ,  $SD_{GYM} = 2503.95$ ;  $M_{BS} = 1683.73$ ,  $SD_{BS} = 1392.81$ ) verglichen wurde, wurde nicht signifikant,  $H(4) = 3.47$ ,  $p = .48$ .

Abbildung 9.5 stellt die Unterschiede der Textumfänge im Vergleich zwischen Studienteilnehmenden mit und ohne Studienfach Physik gegenüber. Deskriptiv betrachtet haben Physiker ( $M = 2333.44$ ,  $SD = 1686.02$ ) im Vergleich zu Nichtphysikern ( $M = 2025.32$ ,  $SD = 1509.14$ ) mehr geschrieben. Ein *U*-Test nach Mann und Whitney zeigt jedoch auch hier, dass sich die

Umfänge der produzierten Texte nicht signifikant zwischen Physikern und Nichtphysikern unterscheiden.



**Abbildung 9.5:** Zeichenzahl offener Items im Vergleich zwischen Physikern und Nichtphysikern

#### *Zusammenhang zwischen Umfang und Qualität der offenen Antworten*

Bevor die Qualität der Antworten in den offenen Items untersucht wurde, wurde der Umfang der produzierten Textmenge untersucht. Es stellte sich die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen dem Umfang und der Qualität der produzierten Texte besteht. Hierfür wurden die Produkt-Moment-Korrelationen zwischen der Gesamtzeichenzahl und den Summenscores<sup>9</sup> der angemessenen und unangemessenen Sichtweisen errechnet. Die Summenscores wurden berechnet, indem die Anzahlen an kategorisierten angemessenen und unangemessenen je Studienteilnehmenden addiert wurden. Dabei wurden Ansichten einer bestimmten Kategorie, die von einer Teilnehmerin oder einem Teilnehmer in verschiedenen offenen Items mehrfach geäußert wurden, nur einfach gezählt. Wenn also ein Studienteilnehmer über die unangemessene Ansicht verfügt, dass die Naturwissenschaften eindeutige Fakten liefern, die nicht interpretierbar sind, und der Studienteilnehmer diese Ansicht in mehreren offenen Items äußert, dann wird diese Ansicht nur einfach in der Subkategorie „• Eindeutig richtige und falsche Antworten“ in der Hauptkategorie „Empirische Basis“ erfasst.

Für die untersuchten Zusammenhänge zwischen angemessenen Ansichten und Zeichenzahl sowie unangemessenen Ansichten und Zeichenzahl ergaben sich bei zweiseitiger Testung jeweils

<sup>9</sup> Bei der Berechnung der Summenscores wurden die gleichen Ansichten, die mehrfach von einer Person genannt wurden, einfach gezählt.



hochsignifikante Korrelationen ( $p < .001$ ). Die Effektstärke des Zusammenhangs zwischen Zeichenzahl und angemessener Sichtweisen war mit  $r = .66$  groß, wohingegen der Effekt des Zusammenhangs zwischen unangemessenen Sichtweisen und Zeichenzahl auf mittlerem Niveau lag ( $r = .38$ ). Demnach haben die Studienteilnehmenden mit eher angemessenen NOS-Ansichten auch umfangreichere Texte produziert.

#### *Qualitative Gruppenunterschiede*

Im Anschluss an den Vergleich des Textumfangs wurde untersucht, ob signifikante qualitative Unterschiede zwischen den Gruppen „Schulart“ und „studiertes Fach“ in den offenen Antworten festzustellen sind. Dafür wurden zunächst nichtparametrische Verfahren zum Vergleich der Summenscores aller Kategorien herangezogen und dabei die Summenscores der eher angemessenen und eher unangemessenen Sichtweisen separat berechnet.

In einem Kruskal-Wallis-Test zeigte sich kein signifikanter Einfluss des Faktors „Schulart“ auf die Summenscores der angemessenen,  $H(3) = 2.44$ ,  $p = .49$ , und unangemessenen  $H(3) = 2.39$ ,  $p = .50$ , Sichtweisen.

Zum Vergleich der Ansichten von Physikern und Nichtphysikern wurde ein Mann-Whitney  $U$ -Test berechnet. In den Summenscores der eher unangemessenen Ansichten unterscheiden sich Nicht-Physiker und Physiker nicht signifikant, wohingegen Physiker ( $Mdn = 5$ ) hochsignifikant mehr angemessene Ansichten in den offenen Antwortformaten zu Nature of Science zeigten als Nicht-Physiker ( $Mdn = 4$ ),  $U = 3449,50$ ,  $z = -3.43$ ,  $p < .001$ ,  $r = -.24$ . Um festzustellen, welche angemessenen Ansichten ausschlaggebend für den hochsignifikanten Unterschied zwischen Physikern und Nichtphysikern sind, wurde auf Ebene der Kategorien angemessener Ansichten weitere sieben Mann-Whitney- $U$ -Tests durchgeführt. Das Alphaniveau wurde entsprechend auf  $p = .007$  ( $.05/7$ ) adjustiert.

Bei den eher angemessenen Ansichten der Kategorien „Empirische Basis“ ( $U = 4118$ ,  $z = -2.02$ ,  $p = .043$ ), „Ansichten zur naturwissenschaftliche Methode“ ( $U = 4857$ ,  $z = -0.02$ ,  $p = .987$ ), „Subjektivität/Theoriegebundenheit“ ( $U = 4734.5$ ,  $z = -.326$ ,  $p = .744$ ), „Theorien & Gesetze“ ( $U = 4454$ ,  $z = -1.54$ ,  $p = .123$ ) und „Vorläufigkeit“ ( $U = 4367$ ,  $z = -1.39$ ,  $p = .165$ ) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Physikern und Nichtphysikern festgestellt werden.

**Tabelle 9.6:** Angemessene Ansichten von Studienteilnehmenden mit studiertem Fach Physik

	Wörtliche Wiedergabe der Antworten	Subkategorie	Hauptkategorie
TIn 122	Kreativität und Vorstellungskraft ist umso wichtiger, je mehr der Forschungsprozess ungreifbar wird z.B. (Makrokosmos entspricht Weltraum - unendliche Weiten oder Mikrokosmos --> Quantenwelt --> Licht: Welle-Teilchen- Dualismus)	Kreativität ist wichtig in der physikalischen Forschung	
TIn 17	Die Energie ist ein theoretisches Konstrukt für die Erklärung von Phänomenen. Die Existenz von "Energie" ist nicht bewiesen.	Atom/Energie: (kreatives) Konstrukt/Fiktion	
TIn. 200	Aus der eigenen Forschungsarbeit kann ich von mir und der Beobachtung anderer Wissenschaftler sagen, dass es letztlich immer um ein magisches Zusammenspiel von divergentem und konvergentem Denken geht. Einerseits muss man sehr kreativ sein, aber man darf es nicht dabei belassen, man muss die Ideen und kreativen Gedanken immer wieder rational logisch genau prüfen usw. Manchmal ist es auch so, dass der kreative Moment eine kleine, aber entscheidende Rolle spielt bei der rationalen und exakten Analyse von Fakten.	Kreativität ist wichtig in der physikalischen Forschung	Kreativität und Vorstellungskraft
TIn 207	Die wahrnehmbaren Auswirkungen von ihr ( <i>der Energie</i> ), sei es mechanisch, elektrisch u.a.	Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung	
TIn 82	Experimente werden benötigt, um Wissen in der Physik weiterzuentwickeln, da sich auch unsere Umgebung (die belebte und unbelebte Natur) verändert bzw. weiterentwickelt. Um bestimmte Änderungen verstehen zu können braucht es Experimente die diese Änderungen untersuchen..	NaWi/Exp. Als Mittel der Erkenntnis	Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle
TIn. 166	Es ist nicht das Ziel der Forscher, das Aussehen von Atomen zu bestimmen, sondern die Struktur der Materie in mathematischer Sprache darzustellen. Dazu werden Erkenntnisse z. B. aus Streuexperimenten genutzt.	Atome/Energie als Konstrukt	

**Anmerkung:** TIn = Teilnehmende

Dagegen zeigten Studienteilnehmende mit dem studierten Fach Physik in zwei Kategorien signifikant mehr angemessene Ansichten als Nichtphysiker. Diejenigen Studienteilnehmenden mit dem studierten Fach Physik zeigten in der Kategorie „Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle“ signifikant mehr angemessene Ansichten als Nichtphysiker,  $U = 3430.50$ ,  $z = -3.61$ ,  $p < .007$ ,  $r = -.25$ . Auch in der Kategorie „Kreativität & Vorstellungskraft“ zeigten die Physiker signifikant mehr angemessene Ansichten,  $U = 3719$ ,  $z = -3.06$ ,  $p < .007$ ,  $r = -.21$ .

Tabelle 9.6 gibt exemplarische Antworten von Studienteilnehmer/innen mit dem studierten Fach Physik dieser Kategorien wörtlich wieder.

Unangemessene Ansichten in der Kategorie „Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle“, die gleichermaßen in der Gruppe der Physiker und Nichtphysiker zu finden sind, sind beispielsweise Antworten, die der Subkategorie „Experiment veranschaulicht etwas/Schulbezug“ zugeordnet wurden. In den Ansichten zu Experimenten werden in beiden Gruppen gleich-

ermaßen Ansichten zu Experimenten geäußert, die wenig mit der erkenntnistheoretischen Bedeutung des Experiments in der Forschung zu tun haben und eher eine schul- und unterrichtsorientierte, didaktische Sichtweise auf das Experiment darstellen. Häufig wird das Experiment als praktisches Mittel der Veranschaulichung und/oder des handlungsorientierten, schülerorientierten Zugangs zu physikalischen Inhalten beschrieben, wie die folgenden Äußerungen eines Nichtphysikers und eines Physikers exemplarisch darlegen:

„Durch Experimente gewinnt man wichtige Einsichten in die Physik und kann auch weiterentwickelte Phänomene erklären und beweisen. Durch Experimente kann man auch Kindern wichtige physikalische Eigenschaften erklären, wie zum Beispiel: ‚Warum kann das Schiff schwimmen?‘“ (Tln 105, Nichtphysiker)

„Da es [das Experiment] wissenschaftliches Arbeiten fördert, Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gibt, eigene Vermutungen aufzustellen und zu überprüfen.“

Tabelle 9.7 führt weitere kategorisierte Äußerungen mit eher unangemessenen Ansichten von Nichtphysikern in denjenigen Hauptkategorien auf, die sich in den ob dargestellten nichtparametrischen Tests maßgeblich für die Unterschiede zwischen Physikern und Nichtphysikern herausstellten.

**Tabelle 9.7:** Unangemessene Ansichten von Studienteilnehmenden ohne studiertes Fach Physik

	Wörtliche Wiedergabe der Antworten	Subkategorie	Hauptkategorie
Tln 6	Ich glaube, dass Physiker weniger ihre Kreativität nutzen (obwohl ich persönlich es wichtig fände), da sie auf die Standards der Forschung vertrauen und wenn ihre Vermutungen nicht bestätigt werden nach Fehlern im Versuchsaufbau oder nach defekten Messinstrumenten suchen."	keine Kreativität	
Tln 76	In der Physik muss alles belegbar gemacht werden und dies kann die Kreativität nicht. Man möchte belegen mit welcher elektr. Spannung ein Blitz in Boden schlägt und dabei kann man sich nicht auf kreative Gedanken verlassen."	Keine Kreativität	Kreativität und Vorstellungskraft
Tln. 57	...um geeignete Experimente zu entwickeln, die zu einer bestimmten Frage passen.	Kreativität nur in einzelnen Phasen nötig	
Tln 35	Ich glaube, sie sind sich sehr sicher. Energie lässt sich messen und berechnen.	Atome/Energie als Fakten /z.B. Mikroskop, Anziehungskräfte etc.)	
Tln 82	Diese Wissenschaft beruht auf Fakten und Theorien, welche objektiv gegeben sind. Im Unterschied zu Geisteswissenschaften, welche nicht immer eindeutige objektive Gesetzmäßigkeiten beschreiben.	Objektiv Daten sammeln	Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle
Tln. 67	Ja, weil es in der Physik um Vorgänge in der Natur geht, die nur mit Experimenten - nicht nur gedanklich - bewiesen werden können.	Experiment (unbedingt) erforderlich	

**Anmerkung:** Tln = Teilnehmende

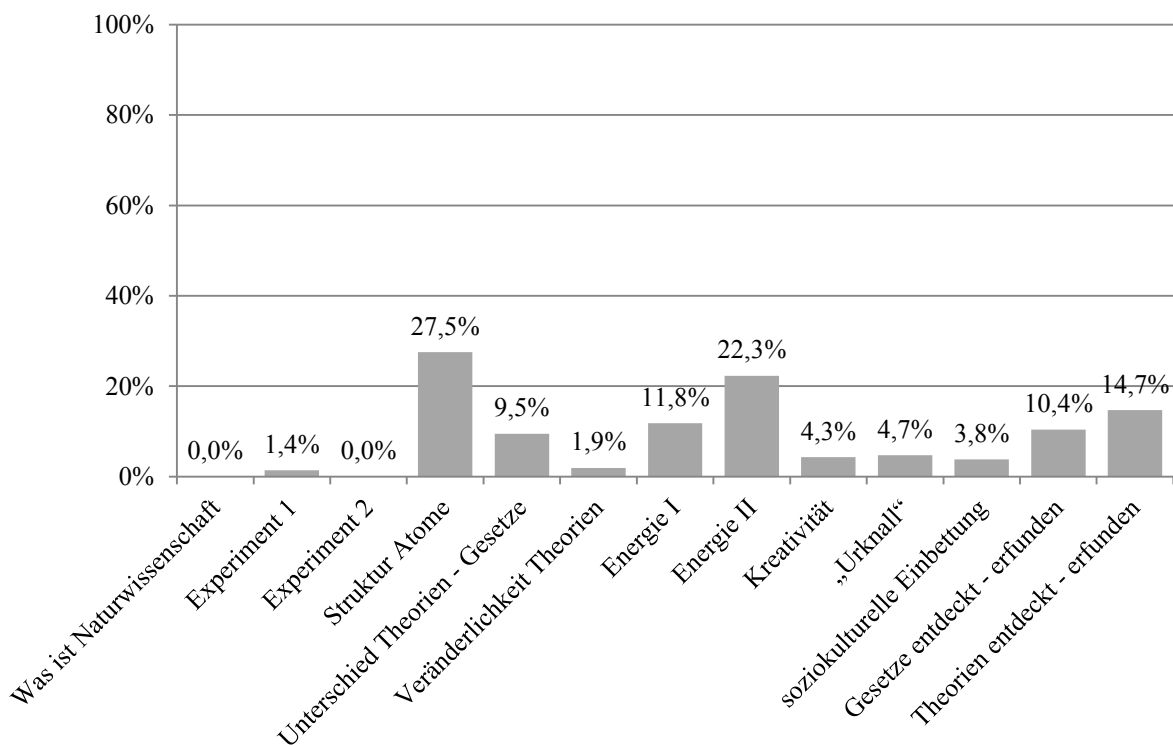
Bei der Beantwortung der offenen Items gaben 96 der insgesamt 211 Studienteilnehmende (45.5%) mindestens einmal an, dass sie eine Frage nicht beantworten bzw. die Ratings der

quantitativen Items nicht begründen konnten, weil sie kein Wissen zum Thema bzw. „keine Ahnung“ haben. Um zu überprüfen, ob ein statistischer Zusammenhang zwischen Schulart bzw. studiertem Fach (Physiker/Nichtphysiker) und dem mindestens einmaligen Auftreten der Angabe, keine Ahnung zu haben, besteht, wurden zwei  $\chi^2$ -Tests durchgeführt. Dabei zeigte sich in beiden Fällen ein signifikanter Zusammenhang. Bezüglich der Schulart,  $\chi^2(4) = 20.12, p < .001$ , waren es 52% der Studienteilnehmenden mit Schwerpunkt Grundschule und 59% der Studienteilnehmenden mit Schwerpunkt Haupt/Werkrealschule, die mindestens einmal angaben, keine Ahnung zu haben. Bei den Teilnehmenden mit der Schulart Realschule waren es nur 18.4%, die mindestens einmal diese Angabe machten. Beim Gymnasiallehramt (50%) und Berufsschullehramt (45.5%) war es jeweils etwa die Hälfte der Teilnehmenden, die mindestens einmal angaben, kein Inhaltswissen zu einer Frage zu haben. Von den Studienteilnehmenden mit studiertem Fach Physik waren es signifikant weniger, die über den gesamten Fragebogen hinweg mindestens einmal die Angabe machten, keine Ahnung zu haben,  $\chi^2(1) = 31.39, p < .001$ ; Nichtphysiker 59%, Physiker 18%.

Anschließend wurde untersucht, wie sich die Antwort, keine Ahnung zu haben, auf die offenen Items verteilte. Abbildung 9.6 zeigt die prozentualen Anteile dieser Kategorie je offenem Item.

Am häufigsten wurde die Antwort der Kategorie „keine Ahnung“ beim offenen Item zur Sicherheit über die Struktur von Atomen gegeben. Dies deutet darauf hin, dass die Studienteilnehmenden zu diesem Thema am ehesten über geringes Inhaltswissen verfügen.

58 Studienteilnehmende (27.5 %) gaben an, diese Frage aufgrund zu geringen Wissens nicht beantworten zu können bzw., dass sie keine Ahnung haben.



**Abbildung 9.6:** Prozentualer Anteil der Antwortkategorie „keine Ahnung“ je offenem Item

Bei der Frage nach den spezifischen Hinweisen, die Physiker nutzen, um festzulegen, was Energie sei (vgl. Anhang, S. 308), gaben 47 Teilnehmende (22.3 %) an, keine Ahnung bzw. über kein Inhaltswissen zu diesem Gegenstandsbereich zu verfügen. 31 Personen (14.7 %) waren nicht in der Lage, die Frage, ob Theorien entdeckt oder erfunden werden, zu beantworten.

Die Berechnung eines Mann-Whitney *U*-Test, bei der über alle offenen Items hinweg ein Summenscore der Kategorie „keine Ahnung“ gebildet wurde, ergibt einen hochsignifikanten Unterschied zwischen Physikern ( $M = .21$ ,  $SD = 0.48$ ) und Nichtphysikern ( $M = 1.34$ ,  $SD = 1.57$ ) mit einem mittleren Effekt,  $U = 2611$ ,  $z = -5.97$ ,  $p < .000$ ,  $r = -.41$ .

Neben den Angaben in den offenen Items, „keine Ahnung“ zu haben oder „keine Beispiele“ zu kennen, gaben 21 (15%) der 143 Nichtphysiker in einem offenen, optionalen Item am Ende des Fragebogens, das der Rückmeldung zur Befragung diente, an, dass die Beantwortung der offenen Antwortformate ihnen Probleme bereitete. Exemplarisch sind nachfolgend vier solcher Antworten wiedergegeben.

„Ich fand es ausgesprochen schwierig, die Fragen zu beantworten.“  
(Tln 50, Nichtphysiker)

„Mir sind die Fragen oft schwer gefallen, da ich mit naturwissenschaftlichen Methoden und Inhalten nur wenig vertraut bin. Das war erschreckend!“  
(Tln 168, Nichtphysiker)

„Da ich mich mit Physik nicht besonders auskenne, war es nicht immer einfach ein Beispiel zu finden. Was ist genau Physik und wann hört sie auf - ist nicht so einfach!“  
(Tln 71, Nichtphysiker)

„Ich fand es sehr schwer, Erklärungen für meine Meinungen zu finden.“  
(Tln 90, Nichtphysiker)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei der Analyse des Wissenschaftsverständnisses auf Skalenebene einerseits keine signifikanten Unterschiede zwischen Physikern und Nichtphysikern sowie Lehrkräften verschiedener Schularten zu finden sind. Andererseits ergeben die Auswertungen der offenen Items zum einen, dass bedeutsame Unterschiede in der Qualität der Antworten im Vergleich zwischen Studienteilnehmern mit studiertem Fach Physik und ohne studiertem Fach Physik bestehen. Physiker zeigen häufiger angemessene Ansichten, vor allem in den Kategorien „Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle“ und „Kreativität und Vorstellungskraft“. Dies zeigt, dass Studienteilnehmende mit dem Fach Physik im Vergleich zu Nichtphysikern fundierteres Inhaltswissen darüber haben, wie Erkenntnisse in Physik gewonnen werden und wie Wissen in Physik generiert wird und dass Kreativität und Vorstellungskraft dabei eine wichtige Rolle spielen. Zum anderen wird deutlich, dass die Beantwortung bestimmter offener Items Studienteilnehmenden mit dem Fach Physik im Vergleich zu Nichtphysikern besser gelang, da sie über das nötige Inhaltswissen verfügten.

### 9.3.2.4 Zusammenhänge zwischen den Antworten der geschlossenen und offenen Items

In Kapitel 2.1.3 werden epistemische Urteile einerseits als stark abhängig vom Kontext und andererseits in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden und aktivierten kognitiven Elementen, wie z. B. Inhaltswissen und Annahmen zur Ontologie, und deren Interaktionen beschrieben. Ausgehend von diesen theoretischen Überlegungen wurden die Zusammenhänge zwischen epistemischen Urteilen, die mit den geschlossenen Items des CAEB erfasst wurden, und die zugrunde liegenden aktivierten kognitiven Elemente, die mit offenen Items erhoben wurden, untersucht. Nachfolgend werden epistemische Urteile der Dimension Textur zum Wissen über die Struktur von Atomen mit Antworten zur Frage „*Wie sicher sind sich Physiker über die Struktur von Atomen? Was glauben Sie, welche spezifischen Hinweise oder Arten von Hinweisen Wissenschaftler nutzten, um das Aussehen von Atomen zu bestimmen?*“ verglichen.

Antworten des offenen Items wurden in der qualitativen Auswertung vor allem in den Kategorien „*Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle*“ und „*Kreativität & Vorstellungskraft*“ erfasst. Zwei der Antworten wurden innerhalb der Hauptkategorie „*Subjektivität/Theoriegebundenheit*“ erfasst. Separat wurde erfasst, wenn Teilnehmende angaben, keine Ahnung von dem Thema zu haben. Tabelle 9.8 zeigt das Ergebnis von beidseitigen Korrelationsanalysen nach Spearman. Dieses voraussetzungsfreie Verfahren wurde für die Untersuchung der Zusammenhänge der Skalenwerte (epistemische Urteile zu Wissen über die Struktur von Atomen) und den Summenscores der codierten Ansichten genutzt, da es sich bei den Summenscores, die sich ausschließlich auf das spezifische offene Item zur Erhebung der Ansichten über die Sicherheit von Physikern über die Struktur von Atomen bezieht, um eine nichtmetrische Variable handelt. In der Korrelationsanalyse wurden also die Zusammenhänge zwischen der Anzahl der gezeigten Ansichten in dem spezifischen offenen Item der aufgeführten Kategorien und den per Ratingskalen erhobenen epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen (Dimension Textur) untersucht.

**Tabelle 9.8:** Korrelationen zwischen epistemischen Urteilen und Ansichten zu Nature of Science

	Summenscore codierter Sichtweisen		Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle		kreatives Konstrukt	Subjektivität/ Theoriegebundenheit	„keine Ahnung“
	angemessen	unangemessen	angemessen	unangemessen			
<b>epistemische Urteile zu Wissen über die Struktur von Atomen (Textur)</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>-.22**</b>	<b>.14*</b>	<b>.15*</b>	<b>ns</b>

Anmerkung: ns = nicht signifikant ( $p > .05$ ), \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

Es konnten teilweise Zusammenhänge zwischen epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen und relevanten NOS-Ansichten festgestellt werden. Die negative Korrelation zwischen epistemischen Urteilen und unangemessenen Ansichten in der Kategorie „*Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle*“ deutet daraufhin, dass Individuen mit unan-

gemessenen Ansichten zur Entstehung von Atommodellen und Theorien über Atome das Wissen über die Struktur von Atomen als beispielsweise eher objektiv, absolut und eindeutig beurteilen. Dieser Zusammenhang ist zwar klein, aber hochsignifikant. Andererseits zeigt sich kein statistischer Zusammenhang zwischen angemessenen Ansichten dieser Kategorie und epistemischen Urteilen. Auch sind positive Korrelationen zwischen der Vorstellung des Atoms als kreatives Konstrukt und der Rolle der Subjektivität und Theoriegebundenheit feststellbar. Jedoch sind auch diese Zusammenhänge sehr klein. Ferner ist kein Zusammenhang zwischen der Angabe, keine Ahnung auf diesem Gebiet zu haben, und epistemischen Urteilen festzustellen.

Der Vergleich verschiedener Antworten von Teilnehmenden, die ähnliche epistemische Urteile gebildet haben, gibt Hinweise auf die Gründe für die kleinen bzw. nicht vorhandenen statistischen Zusammenhänge zwischen der Qualität der Antworten und den epistemischen Urteilen. Tabelle 9.9 zeigt exemplarische Antworten des offenen Items derjenigen Teilnehmenden, die bei der Bildung epistemischer Urteile zu Wissen über die Struktur von Atomen (Dimension Textur) überdurchschnittliche Skalenwerte aufweisen ( $> 3.59$ ). Ein überdurchschnittlicher Wert in der Dimension Textur epistemischer Urteile bedeutet, dass die Teilnehmenden Wissen über die Struktur von Atomen beispielsweise als eher ungenau, subjektiv, unbeweisbar und diffus beurteilten.

**Tabelle 9.9:** Vergleich exemplarischer Antworten offener Items bei ähnlichen epistemischen Urteilen

	e.U.	Fach/ Lehr- amt	wörtliche Wiedergabe der Antworten
Tln 90	4.0	P/HS	Die obige Abbildung ist nur ein Modell. Ein modernes Modell ist das Orbitalmodell von Schrödinger, in dem Elektronen als Wahrscheinlichkeitswelle dargestellt werden. Die Elektronen halten sich mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten in bestimmten Atomorbitalen auf. Soweit ich weiß, hat bisher noch niemand einen Atomkern oder ein Atomorbital gesehen. Im Elektronenmikroskop sind, soweit ich weiß, lediglich Atome zu sehen, die aber nur im E-Mikroskop so dargestellt werden, aufgrund von Messungen und Berechnungen.
Tln 146	4.0	P/ Gym.	Die Atomstruktur ist immer noch eine Black-Box. Man kann sich Modellvorstellungen bilden aber eine genaue Aussage über die Struktur ist nicht zu 100 Prozent bekannt. Wissenschaftler versuchen mit verschiedenen Hilfsmitteln die Struktur zu erkennen bzw. Eigenschaften zu sammeln und infolge dieser gesammelten Eigenschaften ein geeignetes Modell zu entwerfen bis sie eine Eigenschaft entdecken, die mit dem bisherigen Modell nicht mehr vereinbar ist, dann erfolgt eine Veränderung des Modells.
Tln 109	4.5	NP/ GS	Das weiß ich wirklich nicht.
Tln 207	4.5	NP/ GS	Es gibt verschiedene Modelle, die den Aufbau eines Atoms zu beschreiben versuchen. Ich weiß aus meiner eigenen Schulzeit noch, dass wir verschiedene Modelle gelernt haben und dies kommentiert wurde, dass es nur die vereinfachte Form ist, da die eigentliche viel zu schwer zu verstehen sei. Jedoch bauen die verschiedenen Modelle teilweise aufeinander auf (bis auf das Orbitalmodell). Das Bohrsche Modell wurde auf ein Planetenmodell aufgebaut. Somit kann ich mir vorstellen, dass Physiker sich auch auf andere Bereiche stützen.
Tln 167	4.75	P/ Gym	Die Bilder von Atomen sind nur Denkmodelle, die in unserem Kopf entstehen. Wie ein Atom „wirklich“ (was auch immer das heißt) aussieht, weiß niemand. Bei einem Atom handelt es sich um ein Gebilde der Mikrowelt. Alle Bilder, die man sich darüber macht, sind aus der Makrowelt entliehen und somit mehr oder weniger unpassend. Das obige Bild ignoriert wichtige Erkenntnisse der Quantenphysik. Es ist nicht das Ziel der Forscher, das Aussehen von Atomen zu bestimmen, sondern die Struktur der Materie in mathematischer Sprache darzustellen. Dazu werden Erkenntnisse, z. B. aus Streuexperimenten, genutzt.

Tln 164	5.25	P/RS	Physiker sind sich mittlerweile sicher, dass die skizzierte Zusammensetzung nicht vorliegt. Tatsächlich werden Bereiche vermutet, in denen sich die Elektronen aufhalten. Vermutlich wird mittels Ladungsbestimmungen oder Magnetfelder die Form bestimmt.
Tln 211	5.75	NP/ Gym	Die Physiker wissen nicht im Detail, wie Atome funktionieren. Sie entwickeln immer feinere Modelle, um sich deren Verhalten erklären zu können. Sie sind sich also absolut nicht sicher, wie Atome strukturiert sind. Beispielsweise haben Wissenschaftler anhand der Umkreisungen des Atomkerns durch die Elektronen das Schalenmodell entwickelt. Dies dient dazu, sich vorzustellen, warum bestimmte Elektronen um den Kern kreisen. Dabei befindet sich der Kern aber keineswegs in einer Schale.
Tln 130	6.0	NP/ HS	Vor allem durch den deutschen Wissenschaftler Wilhelm Conrad Röntgen wurde das Aussehen der Atomen geprägt ... und das ist wohl immer noch sehr prägend .... oder??
Tln 97	6.5	NP/ GS	Keine Ahnung! Messungen?? Vergrößerungen
Tln 134	7	NP/ HS	Zur Atomtheorie gibt es verschiedene Modelle, was ich aber auch für wichtig halte. Über unterschiedliche Vorgehensweisen wurde das Teilchenmodell, als ein Modell von vielen festgelegt. Strahlungsversuche oder die Frage der elektrischen Ladung eines Atoms halfen sich dem Thema zu nähern. Da aber Wissen immer im Kontext des Subjekts und seiner Wirklichkeit geschaffen wird, kann sich das Wissen zum Atomaufbau auch verändern. Die Frage des Aufbaus des Atomkernes wird, meines Wissens nach, immer noch diskutiert.

**Anmerkung:** e.U. = epistemische Urteile (Dimension Textur), P = Physiker, NP = Nichtphysiker, GS = Grundschule, HS = Hauptschule, RS = Realschule, Gym = Gymnasium; Die Skalenwerte der Dimension Textur reichen von 1 (z.B. Wissen ist exakt und objektiv) bis 7 (z.B. Wissen ist diffus und subjektiv)

Die aufgeführten Beispiele geben Hinweise auf die unterschiedlichen kognitiven Elemente, die bei der Urteilsbildung aktiviert wurden: Kenntnisse über die Bedeutung von Modellen und Modellbildung in der Physik und für den Erkenntnisprozess (z. B. Tln 90, Tln 146), Fachwissen über verschiedene Atommodelle und deren Urheber (z. B. Tln 90), Fachwissen über die Struktur von Atomen (z. B. Tln 90, Tln 211), Annahmen über die Ontologie von Atomen (Tln 167), Wissen (z. B. Tln 134) bzw. Vermutungen (z. B. Tln 207) über die Erkenntnisgewinnung, Vorstellungen über die Entwicklung und Veränderung von Wissen in der Physik (z. B. Tln 146), aktiviertes Wissen aus der Schulzeit (Tln 207), Annahmen über die Rolle der Subjektivität bei der Wissensgenerierung (z. B. Tln 134), Vorstellungen über die Ziele physikalischer Forschung (z. B. 167), fundierte und elaborierte Begründungen (z. B. Tln 211) über unsichere und fragmentartigen Darlegungen (z. B. Tln 97, Tln 130) bis hin zur Angabe, keinerlei Ahnung zu haben (z. B. Tln 109). Vergleicht man beispielsweise die Antworten der Teilnehmenden 211, 130, 97 und 134, die alle einen hohen Wert im epistemischen Urteil aufweisen, so wird deutlich, dass die Qualität des Inhaltswissens und der NOS-Ansichten, auf die die epistemischen Urteile gründen, sich stark voneinander unterscheiden.

In einer weiteren qualitativen Analyse wurden die Antworten zur Frage, wie sicher sich Physiker über die Struktur von Atomen seien und welche Hinweise sie nutzen, von Studienteilnehmenden verglichen, deren quantitativ erhobene epistemische Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen (Dimension Textur) einen unterdurchschnittlichen Wert aufweisen.

Tabelle 9.10 enthält eine exemplarische Auswahl von Fällen, bei denen auf Skalenebene Wissen über die Struktur von Atomen als eher genau, objektiv, beweisbar sowie exakt beurteilt wurde und sich dabei die zugrunde liegenden kognitiven Elemente stark unterscheiden.



Die Beispiele geben ebenso eine große Bandbreite an qualitativ unterschiedlichen, sowohl unangemessenen als auch angemessenen Ansichten wieder, obwohl die dazugehörigen epistemischen Urteile ähnlich sind.

**Tabelle 9.10:** Vergleich exemplarischer Antworten offener Items bei ähnlicher epistemischer Beurteilung

	e.U.	Fach/ Lehr- amt	wörtliche Wiedergabe der Antworten
Tln 53	3.0	P/HS	Zumindest gibt es durch die Quantenphysik bereits ein weiteres Modell, das Orbitalmodell. Dieses Modell geht nicht von Kreisbahnen des Elektrons aus, sondern von einem wahrscheinlichen Auftreten des Elektrons. Durch die Erkenntnisse der Heisenbergsche Unschärferelation aus der Quantenmechanik kann der Aufenthaltsort nicht genau bestimmt werden, sondern nur mithilfe der Mathematik (Stochastik) beschrieben werden.
Tln 44	2.75	P/GS	Ich denke, dass durch bestimmte Reaktionen von verschiedenen Teilchen auf das Aussehen geschlossen werden kann. Je nach dem wie die Reaktion abläuft können Rückschlüsse gezogen werden.
Tln 64	2.25	NP/GS	Ich denke, Atome sind soweit erforscht, dass die grundlegende Struktur bekannt ist. Jedoch gibt es vielleicht auch Atome, welche eine andere Struktur (in anderen Kontexten) aufzeigen.
Tln 160	2.25	NP/GS	Evtl. durch Elektronenmikroskope oder durch „Beschießen“ der Teilchen (mit Elektronen)???
Tln 202	2.0	P/Gym	Es kommt darauf an, wie genau man ein Atom beschreiben möchte. Bis zu einem gewissen Grad ist das oben dargestellte Modell korrekt, allerdings kann man es noch genauer beschreiben, beispielsweise durch das Orbitalmodell oder das Kugelwolkenmodell. Physiker haben ihre Erkenntnisse bei der Beschreibung dieses Atommodells aus Experimenten gewonnen. Dabei haben sie aber auch logische Zusammenhänge genutzt, beispielsweise die Kugelsymmetrie oder Erhaltungssätze. Hinweise für genauere Modelle kommen auch aus Erkenntnissen der Quantenphysik, wie beispielsweise der Schrödingergleichung
Tln 119	2.0	P/RS	Hülle-Kern --> Rutherford (He-Beschuss) Orbitale --> Bindungsstruktur von Molekülen Kern --> Teilchenbeschuss (Teilchenbeschleunigung --> Zusammenprall von Teilchen liefert Erkenntnisse über Zusammenhang der Protonen und Neutronen. Sie sind sich recht sicher.
Tln 24	2.0	NP/GS	Sie sind sich recht sicher. Sie versuchen Atome miteinander zu verbinden, um dann Rückschlüsse über deren Struktur gewinnen zu können. Strukturen, von denen die Wissenschaftler ausgehen, müssen mit bestimmten Atomen und deren Struktur auf bestimmte Art und Weise reagieren, falls etwas Unerwartetes geschieht, muss dies erklärt werden und weiter experimentiert werden.
Tln 57	2.0	NP/GS	Ich denke, dass sie sich ziemlich sicher sind, da das Modell schon seit einiger Zeit besteht und nicht widerlegt werden konnte. Das heißt aber wahrscheinlich nicht, dass es nicht widerlegt werden kann. Experimente mit Magneten? ... mit Röntgen???... mit riesiger Vergrößerung??
Tln 208	1.0	P/Gym	Sicher sind sich die Physiker in dem Punkt, dass diese Darstellung ein sehr schlechtes Modell der Wirklichkeit ist, weil sich einige Widersprüche ergeben (Zyklotronstrahlung vs. Stabilität des Atoms usw.). Allerdings kann mit speziellen Quantentheorien die Struktur der Atome mit Hilfe von Wellenfunktionen berechnet und durch Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen an verschiedenen Hüllenpositionen „anschaulich“ gemacht werden.
Tln 51	1.5	NP/HS	Das kann ich leider nicht beantworten.

**Anmerkung:** e.U. = Skalenwert epistemische Urteile (Dimension Textur), P = Physiker, NP = Nichtphysiker, GS = Grundschule, HS = Hauptschule, RS = Realschule, Gym = Gymnasium;  
Die Skalenwerte der Dimension Textur reichen von 1 (z.B. Wissen ist exakt und objektiv) bis 7 (z.B. Wissen ist diffus und subjektiv)

Die/der Teilnehmende 208 zeigt bei den epistemischen Urteilen (Dimension Textur) zum Wissen über die Struktur von Atomen den geringstmöglichen Skalenwert ( $M = 1.00$ ,  $SD = 0.00$ ). Das bedeutet, dass sie/er das Wissen über die Struktur von Atomen als gänzlich genau, objektiv, beweisbar und exakt einschätzt. Die Antwort im offenen Item zeigt, dass der/die Teilnehmende über Fachwissen und Wissen über den Modellcharakter der Darstellung verfügt. Das epistemische Urteil bezieht sich nach der Begründung auf die Einschätzung, Physiker seien sich über die *Unangemessenheit* des Modells sicher. Ähnlich verhält es sich mit dem Skalenwert von Tln 202 und dessen ausführlicher Begründung, in der ebenso Fachwissen über die Modellbildung in der Physik und die Vorgehensweise der Wissenschaftler sichtbar wird. Die Begründung für die Beurteilung wird ins Verhältnis zum Grad der Genauigkeit der Beschreibung eines Atoms gesetzt.

Es finden sich unter den Beispielen der Tabelle 9.10 jedoch auch Aussagen, die auf geringes Inhaltswissen oder unangemessene Vorstellungen zu den kontextspezifischen Erkenntnisprozessen schließen lassen (z. B. Tln 24).

In den passenden offenen Items zu den epistemischen Urteilen wird sichtbar, dass die Teilnehmenden über hoch unterschiedliches Inhaltswissen und dazugehörige NOS-Ansichten verfügen, wenn sie ihre epistemischen Urteile begründen. Die in Tabelle 9.9 dargestellten Beispiele illustrieren, wie unterschiedliches Inhaltswissen und dazugehörige NOS-Ansichten zur Bildung ähnlicher epistemischer Urteile führen können.

Es wird deutlich, dass Laien mit geringem Fachwissen sowie geringen Kenntnissen bezüglich der Wissensgenese in der modernen Physik auf konnotativer Ebene zu einem ähnlichen epistemischen Urteil bezüglich des Wissens über die Struktur von Atomen kommen können wie Experten, die über fundiertes fach- und themenspezifisches Wissen in der Teilchenphysik sowie über angemessene Vorstellungen bezüglich Ontologie und Erkenntnisgewinnung verfügen. Die erhobenen Ansichten deuten einerseits auf eine wichtige Rolle des fach- und themenspezifischen Wissens sowie den dazugehörigen NOS-Ansichten für die Bildung epistemischer Urteile hin. Andererseits zeigt sich aber auch, dass diese kognitiven Elemente ganz unterschiedlich in Bezug zum Kontext und der Fragestellung gesetzt werden können.

## 9.4 Diskussion

### 9.4.1 Zur empirischen Überprüfung des Testentwurfs

Das Ziel, den Fragebogen für die Hauptstudie zu revidieren, erfolgte unter zwei Gesichtspunkten. Zum einen fand eine Entfernung auf Basis von Item- und Reliabilitätsanalysen statt. Zum anderen wurden Items auch aus Kapazitätsgründen entfernt, wenn sie für die Hauptstudie inhaltlich weniger relevant erschienen. So interessierte beispielsweise für die Hauptstudie nur die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses in Physik, weshalb die Items zur Erhebung epistemischer Urteile in Erziehungswissenschaften nicht in der Hauptstudie berücksichtigt wurden. Des Weiteren wurden auch Items entfernt, die ähnliche Ansichten wie andere Items erheben.

So rufen beispielsweise die offenen Items zur Sicherheit über die Struktur von Atomen und die Items zur Sicherheit über die Beschreibung von Energie ähnliche Ansichten hervor. Aus diesem Grund wurde das offene Item zur Beschreibung von Energie nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen. Der folgende Überblick zeigt, welche Items nicht in den Fragebogen der Hauptstudie übernommen und inwiefern sie für die Auswertung der Vorstudie berücksichtigt wurden:

- CAEB-Items zur Erhebung epistemischer Urteile in Erziehungswissenschaft wurden nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen. Die Items wurden jedoch für die Auswertung der Vorstudie berücksichtigt
- Die offenen Items zum Experimentieren nach Lederman et al. (2002) wurden aus Kapazitätsgründen für die Hauptstudie entfernt, da das Thema „Experimentieren“ für die thematische Ausrichtung der geplanten Interventionsmaßnahme nach Durchführung der explorativen Vorstudie weniger relevant erschienen, als andere NOS-Aspekte.
- Geschlossene Items zu Ansichten zur Methode in den Naturwissenschaften nach Chen (2006a) wurden aus Gründen geringer Reliabilität aus dem Fragebogen entfernt und auch nicht für die Analyse der Ergebnisse der Vorstudie herangezogen.
- Die offenen Items, die die Ansichten zum Verhältnis zwischen Theorie und Gesetz erheben (Lederman et al., 2002), wurden aus inhaltlichen Gründen und Kapazitätsgründen nicht aufgenommen. Für die Auswertung der Vorstudie wurden sie berücksichtigt.
- Die geschlossenen Items zum Verhältnis zwischen Theorie und Gesetz nach Chen (2006a) wurden aus Gründen geringer Reliabilität nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen und auch nicht für die Auswertung der Vorstudie berücksichtigt.
- Das offene Item zur Vorstellung über die Sicherheit von Energie nach Lederman et al. (2002) wurde aus Kapazitätsgründen nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen, jedoch bei der Auswertung der Vorstudie berücksichtigt.
- Das geschlossene Item zur Frage, ob Gesetze entdeckt oder erfunden werden (vgl. Chen, 2006a), sowie das dazugehörige offene Item wurden aus Kapazitätsgründen nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen, jedoch für die Auswertung der Vorstudie berücksichtigt.

Bei der Auswertung der Vorstudie hat sich gezeigt, dass einige NOS-Ansichten, die von entfernten Items erhoben wurden, auch von im Fragebogen verbliebenen Items erhoben werden. So äußerten beispielsweise Teilnehmende der Vorstudie im ersten offenen Item („Was ist aus Ihrer Sicht Naturwissenschaft? Was unterscheidet Naturwissenschaft [oder eine ihrer Disziplinen, wie z. B. Physik] von Geisteswissenschaft [z. B. Philosophie, Theologie]?“) Ansichten zur Methode und zum Experimentieren. Das bedeutet für die Hauptstudie, dass die entfernten Items durch andere Items der Hauptstudie kompensiert werden können.

Für die Erhebung des Wissenschaftsverständnisses wurden folgende Items bzw. Aufgaben nochmals überarbeitet:

- Um die Vergleichbarkeit der CAEB-Skalen zwischen verschiedenen Kontexten zu gewährleisten, wurden im Fragebogen der Hauptstudie alle Items der Dimensionen Textur und Variabilität für die Erhebung der epistemischen Urteile zur Struktur von Atomen sowie der Annahmen zur Ontologie von Theorien und Gesetzen aufgenommen.
- Da die Skala zur Dimension Rechtfertigung des TSEBQ (Bråten et al., 2009) geringe Reliabilität aufwies, wurden weitere Items dieser Skala in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen, um eine höhere Reliabilität in dieser Dimension zu erreichen.

Nach der Überarbeitung des Fragebogens für die Hauptstudie hat sich der Umfang von 11 thematischen Aufgabenblöcken mit insgesamt 15 offenen und 118 geschlossenen Items auf acht unterschiedliche Aufgabenblöcke mit acht offenen und 103 geschlossenen verringert.

#### 9.4.2 Zur Analyse des Wissenschaftsverständnisses

*Zu Frage 1: Zeigen die erhobenen epistemischen Urteile neben den zu erwartenden disziplinspezifischen Unterschieden auch kontext- bzw. themenspezifische Unterschiede?*

Erwartungsgemäß unterschieden sich die epistemischen Urteile bezüglich Wissen in Physik und Wissen in Erziehungswissenschaften/Pädagogik bei den befragten zukünftigen und praktizierenden Lehrkräften deutlich. Die Disziplinabhängigkeit epistemischer Urteile drückt sich dadurch aus, dass Wissen in Physik im Vergleich zu Wissen in Erziehungswissenschaften bezüglich seiner Beschaffenheit/Struktur (Dimension Textur) beispielsweise als objektiver, beweisbarer und absoluter beurteilt wird. Die Unterschiede in der Beurteilung der Variabilität des Wissens in Physik einerseits und Erziehungswissenschaften/Pädagogik andererseits sind noch größer. Wissen in Physik wird im Vergleich zu Wissen in den Erziehungswissenschaften beispielsweise als abgeschlossener, statischer oder unwiderlegbarer beurteilt. Insofern bestätigen die hier vorliegenden Ergebnisse die Ergebnisse anderer Studien, die zeigen, dass Wissen in verschiedenen Disziplinen unterschiedlich im Hinblick auf seine Sicherheit, Veränderlichkeit und „Wahrhaftigkeit“ eingeschätzt und beurteilt werden (siehe z.B. Hofer, 2000; Stahl & Bromme, 2007).

Es wurde auch deutlich, dass die Beurteilung von Wissen nicht nur alleine von der Disziplin, sondern auch vom jeweiligen Kontext bzw. Thema innerhalb einer Disziplin abhängen kann. Die Ergebnisse zeigen, dass die Studienteilnehmenden innerhalb der Disziplin Physik Wissen über die Struktur von Atomen zwar als genauso ähnlich widerlegbar, dynamisch oder unvollständig einschätzen, wie physikalisches Wissen im Allgemeinen. Dafür wird Wissen über die Struktur von Atomen als beispielsweise weniger objektiv, weniger exakt und weniger beweisbar als disziplinübergreifendes Wissen in der Physik beurteilt. Die epistemischen Urteile der Studienteilnehmenden zeigen sich demnach flexibel. Sie beurteilen nicht alles physikalische Wissen als gleichermaßen objektiv, exakt oder beweisbar. Obwohl Wissen über die Struktur von Atomen auch physikalisches Wissen ist, wird es in seiner Beschaffenheit in diesem themenspezifischen Kontext anders beurteilt. Wie weiter unten noch eingehender diskutiert wird,

kann diese Flexibilität durch die Aktivierung unterschiedlicher kognitiver Elemente in verschiedenen Kontexten erklärt werden. Der Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile bedient sich einer Heuristik, die sich an Erklärungsansätzen zur Flexibilität des kognitiven Systems orientiert. So wie in der Kognitiven Psychologie davon ausgegangen wird, dass Schemata nicht als Ganzes hinterlegt sind, sondern je nach Kontext durch die Aktivierung von feineren Einheiten aufgerufen werden, so wird davon ausgegangen, dass bei der Beurteilung von Wissen verschiedene kognitive Elemente, wie z.B. Fachwissen und Annahmen zur Ontologie in einer Disziplin, interagieren (vgl. Bromme et al., 2008). Dieses Ergebnis stützt die Annahme des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile, dass die Beurteilung von Wissen nicht nur von Disziplinen, sondern auch von einzelnen Themen oder Kontexten innerhalb einer Disziplin abhängt, zu denen die befragten Studienteilnehmenden jeweils über unterschiedliche Voraussetzungen verfügen, um dieses zu beurteilen (vgl. Bromme et al., 2008; Stahl, 2011). Die in dem Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile beschriebene Kontext- bzw. Themenabhängigkeit von epistemischen Urteilen, die im Unterschied zu den als stabil beschriebenen epistemischen Überzeugungen flexibel gebildet werden, kann somit anhand der Studie nachgewiesen werden.

Da der Fragebogen für die Analyse der Auswirkungen einer Intervention in der Hauptstudie (vgl. Kapitel 10) auf verschiedene Aspekte des Wissenschaftsverständnisses ausgelegt ist, ist ein direkter Vergleich der aktivierten kognitiven Elemente anhand von Antworten in offenen Items bei der Beurteilung von disziplinübergreifendem physikalischen Wissen und dem themenspezifischen Wissen über die Struktur von Atomen mit diesem Instruments nicht möglich. Dies liegt daran, dass im Zusammenhang mit der Erhebung epistemischer Urteile durch die Items des CAEB nicht immer anhand von offenen Items nach den aktivierten kognitiven Elementen gefragt wurde. In zukünftigen Untersuchungen könnten die durch den CAEB gemessenen epistemischen Urteile innerhalb einzelner Kontexte einer Disziplin auf ihre zugrunde liegenden Elemente untersucht und verglichen werden, indem jeweils anhand eines offenen Items die Begründungen für die Ratings auf jeweils gleiche Weise erfasst werden und eine Vergleichbarkeit der offenen Antworten in den verschiedenen Kontexten ermöglicht wird.

Die deutlichen Unterschiede beim Vergleich der themenspezifischen und übergeordneten, disziplinspezifischen epistemischen Urteile bei der Beurteilung des Wissens können als Hinweis auf die unterschiedliche Bewertung von Wissen in den Kontexten der Paradigmen klassischer Physik und moderner Physik gewertet werden. Abd-El-Khalick und Lederman (2000) beschreiben, wie sich verschiedene NOS-Ansichten und epistemische Sichtweisen zu einer Disziplin parallel entwickeln und nebeneinander bestehen können und führen dabei als Beispiel die Physik an, in der sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts der Sprung vom deterministischen Ansatz der klassischen Physik hin zum indeterministischen Ansatz der Quantenphysik vollzogen hat (vgl. Kapitel 4.4). Ausgehend davon lässt sich erklären, dass allgemeines, disziplinübergreifendes Wissen der Physik eher als objektiv-mechanistisch angesehen wird und, wie von Römer (1999) beschrieben, nach wie vor als das eigentliche Weltbild der Physik erscheint und zur

Unterscheidung zu den Geisteswissenschaften herangezogen wird, wohingegen dem Wissen über Atome eine vergleichsweise größere Ungenauigkeit, Subjektivität, Unbeweisbarkeit und Diffusheit zugeschrieben wird.

Welche aktivierten kognitiven Elemente in den Begründungen zur Frage nach der Sicherheit des Wissens über die Struktur von Atomen sichtbar wurden und wie diese bezüglich der mit den geschlossenen Items des CAEB erfassten epistemischen Urteile zu diesem Wissen interpretiert werden können, wird im Zusammenhang mit Forschungsfrage 3 diskutiert.

*Zu Frage 2: Besteht ein Unterschied im Wissenschaftsverständnis in Physik bei zukünftigen und ausgebildeten Lehrkräften im Hinblick auf die Schulart und dem studierten Fach (mit Physik/ohne Physik)?*

Im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile wird davon ausgegangen, dass Fach- bzw. Inhaltswissen eine wichtige Rolle bei der epistemischen Beurteilung von disziplin- und themenspezifischem Wissen spielen. Deshalb wurde das Wissenschaftsverständnis von Laien und Experten miteinander verglichen. Beim Vergleich des Wissenschaftsverständnisses von zukünftigen und praktizierenden Lehrkräften verschiedener Schularten als auch von Nichtphysikern und Physikern konnte auf Skalenebene kein Unterschied im Wissenschaftsverständnis festgestellt werden.

Dagegen konnten auf Ebene der offenen Antworten Unterschiede zwischen Physikern und Nichtphysikern festgestellt werden. Studierende, Lehramtsanwärter und Referendare als auch ausgebildete Lehrkräfte, die Physik studieren oder studiert haben, zeigten häufiger angemessene Ansichten bezüglich der Unterscheidung zwischen Beobachtung von Phänomenen und dem Tätigen von Schlussfolgerungen sowie der Rolle von Denkmodellen zur Theoriebildung.

Ebenso konnte bei den Physikern ein Unterschied bezüglich den Ansichten zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft in der physikalischen Forschung gegenüber Nichtphysikern festgestellt werden. Im Unterschied zu Nichtphysikern sind bei den Studienteilnehmenden mit studiertem Fach Physik häufiger angemessene Vorstellungen zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft in den Naturwissenschaften im Allgemeinen sowie in der Disziplin Physik im Speziellen vorzufinden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass auf Ebene der mit den Ratingskalen erhobenen Antworten keine Unterschiede im Wissenschaftsverständnis zwischen Studienteilnehmenden mit und ohne studiertem Fach Physik festzustellen sind, wohingegen auf Ebene der offenen Antworten Unterschiede im Wissenschaftsverständnis zwischen Experten (mit studiertem Fach Physik) und Laien (ohne studiertes Fach Physik) zu registrieren sind.

Im Zusammenhang mit der Beantwortung von Forschungsfrage 3 im folgenden Abschnitt, werden Erklärungen für die gewonnenen Ergebnisse bezüglich der Zusammenhänge zwischen Fachwissen, den dazugehörigen NOS-Ansichten und epistemischen Urteilen aufgezeigt.

*Zu Frage 3: Welche Zusammenhänge sind zwischen dem Fachwissen sowie den dazugehörigen NOS-Ansichten und den epistemischen Urteilen zu erkennen?*

Aufgrund des nicht festzustellenden Zusammenhangs zwischen studierter Schulart und studiertem Fach (Physiker/Nichtphysiker) und dem mit den geschlossenen Items erhobenen Wissenschaftsverständnisses, könnte einerseits geschlossen werden, dass das Fach- und Inhaltswissen der Experten keinen merklichen Einfluss auf ihr Wissenschaftsverständnis hat. Andererseits weisen wiederum Korrelationen auf einen Zusammenhang zwischen den themenspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen und den dazugehörigen NOS-Ansichten zu Beobachtungen, Schlussfolgerungen und Denkmodellen, der Kreativität sowie Subjektivität/Theoriegebundenheit hin. Das wiederum bedeutet, dass in diesem themenspezifischen Kontext ein Zusammenhang zwischen Inhaltswissen sowie den dazugehörigen NOS-Ansichten und den epistemischen Urteilen auf Skalenebene zu erkennen ist. Diese scheinbar widersprüchlichen Ergebnisse weisen zum einen auf die Komplexität bei der Erhebung und Analyse des Wissenschaftsverständnisses hin und zeigen gleichzeitig die Möglichkeiten und Grenzen des Erhebungsinstruments auf, wie im Folgenden gezeigt wird.

Beim Abgleich der quantitativen Daten mit den offenen Antworten der Studienteilnehmenden im Zusammenhang mit den Ansichten zur Sicherheit über die Struktur von Atomen wird zum einen deutlich, welche unterschiedlichen, kognitiven Elemente von verschiedenen Studienteilnehmenden als Begründungen für ihre epistemischen Urteile aktiviert werden und wie diese auf ganz unterschiedliche Weise in Bezug zu den getätigten Urteilen gesetzt werden. So wird beispielsweise deutlich, dass verschiedene Studienteilnehmende das Wissen über die Struktur von Atomen bei der Erhebung der epistemischen Urteile anhand geschlossener Items als eher ungenau, subjektiv, unbeweisbar sowie diffus beurteilen und dabei ganz unterschiedliche Begründungen für ihre Urteile angeben. Die verschiedenen Begründungen zu den ähnlichen epistemischen Urteilen weisen darauf hin, dass manche der Teilnehmenden beispielsweise über tiefes Inhaltswissen verfügen, das sie für die Beurteilung des Wissens aktivieren können. Andere Teilnehmende können dagegen ihre Urteile überhaupt nicht mit Argumenten stützen oder verfügen lediglich ansatzweise über Fachwissen. Das zeigt, dass sowohl Experten als auch Laien auf Skalenebene zu ähnlichen epistemischen Urteilen kommen können und dabei auf hoch unterschiedliche kognitive Elemente zurückgreifen.

Die festgestellten Korrelationen zwischen den epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen und den in diesem themenspezifischen Kontext geäußerten kategorisierten NOS-Ansichten deuten wiederum auf einen Zusammenhang zwischen NOS-Ansichten und epistemischen Urteilen hin. Die geringen Korrelationen können zum einen damit erklärt werden, dass, wie oben dargestellt, ein hoher Skalenwert bei der Beurteilung von Wissen nicht zwangsläufig mit angemessenen NOS-Ansichten einhergehen muss. Umgekehrt muss ein geringer Skalenwert bei den epistemischen Urteilen nicht zwangsläufig mit unangemessenen Ansichten einhergehen. Dies wird beispielsweise an zwei Fällen deutlich (siehe Tabelle 9.10, Tln 208 und Tln 202), bei denen zwei Experten (Gymnasiallehrkräfte mit studiertem Fach Physik)

einen geringen Skalenwert bei den epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen aufweisen, jedoch in den offenen Antworten zeigen, dass sie über Inhaltswissen in diesem Bereich verfügen. Dabei schätzen die beiden Experten das Wissen über die Struktur von Atomen in der offenen Antwort ganz unterschiedlich bezüglich seiner Genauigkeit und Beweisbarkeit ein. Beispielsweise beurteilt der eine das Wissen im Verhältnis zu den Erkenntnissen vor etwa 200 Jahren als recht genau, exakt und beweisbar, wohingegen der andere aufgrund seiner Annahmen zur Ontologie von Atomen weiß, dass die absolute „Wahrheit“ in diesem Bereich nie erreicht werden kann und entsprechend das Wissen in diesem Bereich eher als diffus und unbeweisbar beurteilt. Beide Experten aktivieren bei einer ähnlichen Beurteilung des Wissens auf Skalenebene unterschiedliche kognitive Elemente, die unterschiedlich in Bezug zu den jeweils geringen Skalenwerten gesetzt werden. Die geringen Skalenwerte könnten ohne Berücksichtigung der Begründungen in den offenen Antworten möglicherweise als „eher weniger sophitiziert“ oder „naiv“ eingeordnet werden. Mit Blick auf die Argumentation der beiden Experten erscheint ihr Wissenschaftsverständnis, das sie im Zusammenhang mit der Beurteilung des Wissens über die Struktur von Atomen darlegen, als alles andere als „naiv“.

Anhand der Analyse der offenen Antworten wird deutlich, dass nicht alleine auf Basis der Ratings der quantitativen Items auf den Grad der Sophistiziertheit des Wissenschaftsverständnisses geschlossen werden kann, da die im Kontext aktivierten kognitiven Elemente höchst unterschiedlich sind. Selbst wenn die Befragten über vergleichbares Inhaltswissen zur Genese von Wissen in Physik oder einem themenspezifischen Teilbereich der Physik verfügen, ergeben sich daraus nicht zwangsläufig gleiche epistemische Urteile, da das individuelle Wissen unterschiedlich in Bezug zur Beurteilung des Wissens gesetzt werden kann. Dies stützt die Kritik an der im Forschungsfeld der persönlichen Epistemologie gängigen Praxis, ohne Berücksichtigung des Kontexts und des Themas und ohne vertiefte Analyse der Begründungen der Beurteilung von Wissen, auf die „Sophistiziertheit“ oder „Naivität“ der epistemischen Kognition eines Individuums zu schließen (vgl. z. B. Bråten et al., 2013; Bromme et al., 2008; Elby & Hammer, 2001; Stahl, 2011; Trautwein & Lüdtke, 2007).

Die im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten und die festgestellten Zusammenhänge zwischen Fachwissen, NOS-Ansichten und epistemischen Urteilen stützen die Methodenkritik, die im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile geäußert wird (vgl. Kapitel 2.3). Denn es wird deutlich, dass durch die rein quantitative Erhebung epistemischer Kognition keine Aussagen über die „Angemessenheit“ des Wissenschaftsverständnisses eines Individuums getätigt werden können. So zeigte sich beispielsweise, dass Nichtphysiker zwar epistemische Urteile bildeten, die auf quantitativer Ebene nicht unterscheidbar von denen der Physiker sind, viele von ihnen im Vergleich zu Physikern jedoch über geringes oder kein Inhaltswissen verfügen, um ihre Urteile und Ansichten auf Skalenebene überhaupt begründen zu können. Dies entspricht dem Szenario, wie es Stahl (2011, S. 49–50), schildert, wenn er aufzeigt, dass eine Expertin, ein Novize und ein Laie eine Aussage gleich epistemisch beurteilen, dabei aber beispielsweise die Expertin vertieftes Fachwissen, Wissen über Messmethoden und Wissen zur



Ontologie als kognitive Elemente aktivieren kann, dagegen der Laie beispielsweise über kein Inhaltswissen und kein Wissen über Messmethoden verfügt, sondern sein Urteil auf die stabilere epistemische Überzeugung gründet, dass naturwissenschaftliches Wissen recht sicher und vertrauenswürdig ist.

In diesem Zusammenhang werden auch die Möglichkeiten und Grenzen des in dieser Studie genutzten Instruments deutlich. Zum einen bietet der Fragebogen die Möglichkeit, durch die Erhebung anhand von Ratingskalen inferenzstatistische Verfahren in der Analyse des Wissenschaftsverständnisses zu nutzen. Die Analyse der offenen Antworten ermöglicht darüber hinaus einen ersten Eindruck über die den Studierenden zur Beurteilung des Wissens zur Verfügung stehenden Elemente und wie sie sie argumentativ anführen. Insofern können Hinweise auf kognitive Elemente, die bei der Beurteilung von disziplin-, themen- oder kontextspezifischem Wissen aktiviert werden, gewonnen werden. Andererseits werden aber auch die Grenzen des Instruments deutlich. Wenn z. B. wie in einem Beispiel aus Tabelle 9.10 der/die Teilnehmende 51 das Wissen über die Struktur von Atomen als recht genau, objektiv, beweisbar und exakt beurteilt und auf die Frage, wie sicher sich Physiker sind und welche Hinweise Physiker nutzen, antwortet, er/sie könne die Frage nicht beantworten, dann könnten verschiedene bzw. keine Schlüsse über die zugrunde liegenden bzw. aktivierten kognitiven Elemente bei der Beurteilung gezogen werden. Es könnte beispielsweise sein, dass der/die Teilnehmende tatsächlich über kein Inhaltswissen verfügt und auf stabilere epistemische Überzeugungen zurückgreift, um das Wissen zu beurteilen. Genauso könnte es aber auch sein, dass die Person fragmentiertes Wissen aus der Schulzeit zum Thema hat und zu unsicher ist, es schriftlich darzulegen. Insofern wäre es notwendig, weitere Informationen von den Teilnehmenden zu erhalten. Diese könnten z. B. in einem sich anschließenden Interview gewonnen werden. Hierbei könnte beispielsweise ermittelt werden, ob ähnliche Urteile in unterschiedlichen thematischen Kontexten gezeigt werden und dabei ebenso kein bzw. wenig Inhaltswissen zur Begründung steht. Der hier beschriebene fiktive Fall ließe dann auf wenig flexible und stabilere epistemische Überzeugungen schließen, die bei der epistemischen Beurteilung von Wissen über verschiedene Kontexte hinweg aktiviert werden.

Um weiterführende Informationen zum Wissenschaftsverständnis zu erhalten, werden deshalb in der Hauptstudie wie von Bromme et al. (2008) und Stahl (2011) ergänzende Interviews an die Fragebogenerhebung angeschlossen, um die Möglichkeit zu nutzen, beispielsweise in wechselnden thematischen Kontexten Experten und Laien vertieft zu befragen, um so die Auswirkungen der Intervention auf das Wissenschaftsverständnis besser verstehen zu können.

*Zusammenfassend* lässt sich festhalten, dass Fachwissen und Annahmen zur Ontologie eine wichtige Rolle bei der Beurteilung von Wissen zu spielen scheinen. Zum anderen wird aber auch deutlich, dass das Verhältnis zwischen den kognitiven Elementen, wie z. B. vorhandenem Fachwissen, Annahmen zur Ontologie und stabileren epistemischen Überzeugungen, komplexer ist, als dass man ausschließlich mit anhand eines Fragebogens gewonnenen Daten Aussagen

über die „Sophistiziertheit“ oder „Angemessenheit“ des Wissenschaftsverständnisses eines Individuums treffen kann. Mit dem genutzten Instrument lassen sich zum einen erste Aussagen auf aktivierte kognitive Elemente bei der Beurteilung von Wissen treffen. Darüber hinaus können auch erste Hinweise auf ein eher angemessenes oder unangemessenes disziplin- oder kontextspezifisches Wissenschaftsverständnis gefunden werden. Tiefergehende Aussagen über das Wissenschaftsverständnis eines Individuums lassen sich jedoch letztendlich nur im konkreten Einzelfall unter Berücksichtigung des jeweiligen Themas bzw. Kontextes sowie der tiefergehenden Analyse ausführlicher Begründungen, die beispielsweise mit der Möglichkeit der Nachfrage im Interview gewonnen werden, tätigen.

## 10. Hauptstudie: Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch Learning by Design

In der Hauptstudie wurde Learning by Design zur Veränderung des Wissenschaftsverständnisses im Rahmen von Hochschulveranstaltungen eingesetzt. Dabei wurden Ergebnisse der explorativen Phase (vgl. Kapitel 7) aufgegriffen und das Wissenschaftsverständnis mit dem revidierten Erhebungsinstrument (vgl. Kapitel 9) erhoben.

Es werden zuerst Fragestellung und Methode sowie die modifizierte Interventionsmaßnahme vorgestellt, um danach die Ergebnisse darzustellen und zu diskutieren.

### 10.1 Fragestellung

Ziel der Hauptstudie war die Untersuchung der Auswirkungen einer Intervention zur Veränderung des Wissenschaftsverständnisses von Lehramtsstudierenden im Rahmen des Learning by Design-Ansatzes.

Untersuchungsleitend waren die folgenden Fragestellungen:

- Frage 1: Lässt sich das Wissenschaftsverständnis von Lehramtsstudierenden im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes verändern? Falls ja, welche Veränderungen sind zu beobachten?

*In der Hauptstudie wurde untersucht, ob Veränderungen im Wissenschaftsverständnis von Lehramtsstudierenden zu beobachten sind, wenn sie in einer Hochschulveranstaltung ein Medienprodukt erstellen, das für das Wissenschaftsverständnis förderliches Wissen beinhaltet. Analysiert wurde dabei, welche Veränderung im Wissenschaftsverständnis zu beobachten ist.*

- Frage 2: Welche Rolle spielt das Fachwissen der Studierenden bei etwaigen Veränderungen des Wissenschaftsverständnisses?

*Im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile wird die Bildung epistemischer Urteile durch die flexible Aktivierung verschiedener kognitiver Elemente erklärt. Disziplin- und themenspezifisches Fachwissen, wie beispielsweise Wissen über Methoden, Erkenntnisgewinnung und Theoriebildung, gelten als wichtige kognitive Elemente bei der Beurteilung der Sicherheit und Gültigkeit von Wissen. Es wurden deshalb die Auswirkungen der Intervention bei Studierenden mit ohne Fachwissen in Physik untersucht, um auf die Rolle des Fachwissens schließen zu können.*

### 10.2 Methode der Hauptstudie

#### 10.2.1 Stichprobe

Die Stichprobe der Hauptstudie setzte sich aus Studierenden zweier Hochschulseminare, einem physikdidaktischen Seminar und einem Seminar für Medienbildung, zusammen,  $N = 41$ . Davon

waren 21 weiblichen und 20 männlichen Geschlechts. Das Durchschnittsalter betrug 24.4 Jahre ( $SD = 4.28$ ).

Um den Einfluss des Inhaltswissens auf das Wissenschaftsverständnis während der Intervention untersuchen zu können, wurde die Intervention mit Studierenden des Faches Physik und mit „Nichtphysikern“ als Vergleichsgruppe durchgeführt. Der größte Teil der Physikstudierenden (91%) befand sich im physikdidaktischen Seminar. Mit den Studierenden ohne dem studierten Fach Physik wurde die Intervention im Rahmen eines fächerübergreifenden Seminars für Medienbildung durchgeführt (Interventionsgruppe B). Die Teilgruppen unterschieden sich deutlich bezüglich des Geschlechts. Bezüglich des Alters und der studierten Schulart bestanden nur geringe Unterschiede. Da es sich bei den beiden Seminaren um natürliche Gruppen handelte, die durch die interessengeleitete Teilnahme der Studierenden an den Seminaren zustande kamen, war die Gruppe der Physikstudierenden nicht ganz deckungsgleich mit Interventionsgruppe A. Zwei Physikstudierende waren im fächerübergreifenden Seminar für Medienbildung (Interventionsgruppe B).

Tabelle 10.1 zeigt weitere Merkmale der Stichprobe und deren Verteilung auf die Gruppen mit Studienfach und ohne Studienfach Physik.

**Tabelle 10.1:** Zusammensetzung der Stichprobe der Hauptstudie

	mit Studienfach Physik	ohne Studienfach Physik	gesamt
<b>Anzahl</b>	22 (54 %)	19 (46 %)	<b>41 (100 %)</b>
<b>Geschlecht</b>			
männlich	15	5	<b>20 (49 %)</b>
weiblich	7	14	<b>21 (51 %)</b>
<b>Alter</b>			
Spannweite	21–37	21–43	<b>21–43</b>
Mittelwert	24.7 ( $SD = 3.90$ )	24.05 ( $SD = 4.77$ )	<b>24.4 (<math>SD = 4.28</math>)</b>
<b>Schulart</b>			
Grundschule	0	1	<b>1</b>
Haupt-/Werkrealschule	3	4	<b>7</b>
Realschule	19	14	<b>33</b>
<b>Interventionsgruppe</b>			
Interventionsgruppe A	20	0	<b>20 (49 %)</b>
Interventionsgruppe B	2	19	<b>21 (51 %)</b>

## 10.2.2 Instrumente

Nach der Evaluierung im Anschluss an die Pilotierung wurde das Erhebungsinstrument für die Hauptstudie überarbeitet. In Kapitel 9.4.1 ist dargelegt, welche kompletten Aufgaben, offenen Items oder Skalen aus Inhalts-, Kapazitäts- oder Reliabilitätsgründen entfernt wurden. Im Folgenden sind die für die Hauptstudie verwendeten Skalen und offenen Items aufgeführt, mit

denen das Wissenschaftsverständnis in Form von epistemischen Urteilen und Ansichten zu Nature of Science sowie die Einschätzung des eigenen Kompetenzerwerbs in den Bereichen der Wissensdomäne und der Mediennutzungskompetenzen erhoben wurden. Weitere Veränderungen am Fragebogen, die für die Hauptstudie vorgenommen wurden, werden dabei benannt.

Der Fragebogen in der Fassung der Hauptstudie findet sich im Anhang auf Seite 315.

#### *10.2.2.1 Erhebung des Wissenschaftsverständnisses*

##### *Geschlossene Items*

Die Items des CAEB wurden genutzt, um die epistemischen Urteile zu disziplinspezifischem Wissen in Physik sowie zu themenspezifischen Urteilen über die Struktur von Atomen zu erheben. Wie im Fragebogen der Pilotstudie wurden alle Items des CAEB für die Erhebung der disziplinspezifischen Urteile in Physik genutzt. Im Unterschied zur Vorstudie wurden bei der Erhebung der themenspezifischen epistemischen Urteile alle Items der Dimensionen Variabilität und Textur berücksichtigt. Des Weiteren wurden im Unterschied zur Vorstudie alle Items der Skalen Variabilität und Textur genutzt, um Annahmen zur Ontologie von Gesetzen und Theorien zu erheben. Diese Maßnahme wurde getroffen, da die Skala zum Unterschied zwischen Theorie und Gesetz des VOSE (Chen, 2006b) in der Pilotierung eine geringe Reliabilität aufwies. Dagegen zeigten sich die Skalen des CAEB in der Vorstudie in unterschiedlichen Kontexten als verlässlich, so dass davon auszugehen war, dass auch bezüglich der Annahmen zu Theorie und Gesetzen verlässliche Ergebnisse zu erzielen sind.

Zudem wurden epistemische Urteile bezüglich des Umgangs mit einem kontroversen Thema ermittelt. Dabei wurden für das Instrument der Hauptstudie adaptierte Items des TSEBQ genutzt (vgl. Kapitel 8.2.2). Erhoben wurden die *Dimensionen Sicherheit, Quelle und Rechtfertigung*. In der Vorstudie zeigte die Dimension Rechtfertigung des TSEBQ eine geringe Reliabilität ( $\alpha = .53$ ). Es wurde deshalb in der Hauptstudie versucht, die Reliabilität dieser Dimension durch die Hinzunahme der folgenden beiden passend zum Thema adaptierten Items aus dem TSEBQ zu erhöhen: „Wenn ich etwas über Zustand/Entwicklung des Universums lese, überprüfe ich, ob der Inhalt logisch erscheint.“; „Um Behauptungen zu Entwicklung/Zustand des Universums in Texten trauen zu können, muss man verschiedene Wissensquellen überprüfen.“

Die NOS-Ansichten zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft, soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften sowie der Frage, ob Theorien entdeckt oder erfunden werden, wurden mit den gleichen Skalen wie in der Pilotstudie erhoben.

##### *Offene Items*

Nach der Revision des Fragebogens im Anschluss an die Pilotierung verblieben im Fragebogen der Hauptstudie sieben offene Items, mit denen ausführliche Begründungen zu den verschiedenen Ratings der geschlossenen Items erfasst wurden, um auf die den Skalenwerten zugrunde liegenden kognitiven Elemente schließen zu können. Die offenen Items bezogen sich auf folgende Aspekte:

- Was ist Naturwissenschaft und was unterscheidet sie von Geisteswissenschaft?
- Sicherheit des Wissens über die Struktur von Atomen und Annahmen über die Basis dieses Wissens
- Rolle der Kreativität in der Physik
- Veränderlichkeit von Theorien in der Physik
- Umgang mit Kontroversen
- Rolle soziokultureller Einflüsse in den Naturwissenschaften
- Theorien in Physik: entdeckt oder erfunden

#### *10.2.2.2 Einschätzung des eigenen Kompetenzerwerbs in den Bereichen der Wissensdomäne und der Mediennutzungskompetenzen*

Zur Erhebung der Einschätzung des eigenen Kompetenzerwerbs nach der Learning by Design-Phase wurde neben dem Wissenschaftsverständnis auch die Einschätzung des Kompetenzerwerbs durch Learning by Design anhand von Ratingskalen erhoben. Bei den Items handelt es sich um dieselben, die schon bei der Evaluierung der explorativen Studie zur Interventionsmaßnahme zum Einsatz kamen (vgl. Kapitel 7.5.5). Es handelt sich um die adaptierte Fassung des Instruments von Paechter et al. (2007). In der Konzeption von Paechter et al. bezieht sich die Einschätzung des Kompetenzerwerbs auf zwei Faktoren: „Medienkompetenz“ und „Kompetenzen in der Wissensdomäne“. Diese zwei Faktoren zeigen in der Originalfassung des Instruments sehr hohe Cronbachs  $\alpha$ -Werte ( $\alpha_{\text{Medienkompetenz}} = .91$ ,  $\alpha_{\text{Wissensdomäne}} = .89$ ). Für die explorative Studie (siehe Kapitel 7) wurden einige der Items zur Verwendung mit Learning by Design adaptiert. So wurde beispielsweise das Item *„Ich finde, die Online-Angebote regen sehr zu einer kritischen Auseinandersetzung mit dem Inhalt an.“* folgendermaßen verändert: *„Learning by Design regt zu einer kritischen Auseinandersetzung mit den zu bearbeiteten Inhalten an.“*

Aufgrund der geringen Stichprobengröße konnte im Rahmen der Vorstudie keine Item- und Reliabilitätsanalyse mit den adaptierten Items durchgeführt werden. Entsprechende Analysen erfolgen im Rahmen dieser Studie.

Im ursprünglichen Erhebungsinstrument werden unter Medienkompetenz vor allem Kompetenzgewinne in der Nutzung und Handhabung der Neuen Medien, auch in Kooperation mit anderen, verstanden (vgl. Paechter et al., 2007, S. 72). Der Faktor „Medienkompetenz“ bezieht sich demnach eher auf die Bedien- oder Mediennutzungskompetenz, die zu unterscheiden ist von bildungstheoretisch ausgerichteten und normativ hergeleiteten Konzeptionen von Medienkompetenz, wie z. B. die Konzeption von Baacke (1997), die beispielsweise die Dimension Medienkritik beinhaltet. Deshalb wird im weiteren Verlauf der Faktor als „Mediennutzungskompetenz“ bezeichnet.

### 10.2.3 Material und Durchführung

Ausgehend von den Schlussfolgerungen aus der explorativen Vorstudie (vgl. Kapitel 7) werden im Folgenden die wesentlichen Veränderungen der Interventionsmaßnahme zur Durchführung in der Hauptstudie vorgestellt.

#### *Inhalt des zu erstellenden Medienprodukts*

Thematisch sollte sich das zu erstellende Medienprodukt auf das in der explorativen Studie bewährte Thema „Licht bei Newton, Huygens und Einstein“ beziehen. Ursprünglich war in der explorativen Studie geplant, dass die Studierenden ein Medienprodukt zu dem Thema „Licht bei Huygens, Newton und Goethe“ erstellen. Im Laufe der explorativen Interventionsmaßnahme hat sich auf Initiative der Studierenden hin ergeben, dass statt Goethes Person und Theorie die von Einstein in das Medienprodukt aufgenommen wurde (vgl. Kapitel 7.6). Die Kontroverse zwischen Newton und Goethe wurde nicht, wie in der explorativen Studie ursprünglich geplant, in die Aufgabenstellung und Zielformulierung der Interventionsmaßnahme der Hauptstudie aufgenommen.

#### *Software und technische Ausstattung*

Um möglichst gleiche Bedingungen in beiden Seminaren zu gewährleisten, war die Verwendung der Software PowerPoint zur Erstellung des Hypertexts in beiden Gruppen gesetzt, da PowerPoint im Unterschied zu einem Wiki-Editor, die Vorteile hat, dass die Studierenden Vorkenntnisse im Umgang mit der Software haben, die Software vergleichsweise einfach zu bedienen ist und ohne größere technische Einarbeitung eine grafische Benutzeroberfläche und somit auch die Metapher für das zu erstellende Medienprodukt umsetzbar ist (vgl. dazu die Begründung in Kapitel 7.7.2).

Interventionsgruppe A arbeitete in Fachräumen der Physik, in denen den Studierenden PCs und Laptops mit Internetzugang und gängigen Office-Programmen sowie ein Videoschnittplatz zur Verfügung standen (siehe auch Kapitel 7.5). Interventionsgruppe B arbeitete in einem PC-Raum, der mit 40 PC-Arbeitsplätzen, einem Referenten-PC, einem Video- und Datenprojektor und einer Projektionsfläche ausgestattet war. Die PC-Arbeitsplätze waren in vier Sitzgruppen zu je zehn Plätzen angeordnet. Die PCs verfügten über die für die im Rahmen der Intervention geplante Gestaltung von Hypertext nötige Software, wie z. B. MS PowerPoint oder Adobe Photoshop.

#### *Einführung in MS PowerPoint*

In beiden Interventionsgruppen wurde PowerPoint<sup>10</sup> zur Gestaltung von Hypertext eingeführt. Alle Studierenden, sowohl in der Interventionsgruppe A (physikdidaktisches Seminar) als auch

---

<sup>10</sup> Überlegungen zur Verwendung von PowerPoint zur Gestaltung von Hypertext finden sich in Kapitel 7.3.4. Die Begründung für die Nutzung der Software in der Hauptstudie findet sich im Diskussionsteil der Vorstudie auf Seite 135.

in der Interventionsgruppe B (Seminar für Medienbildung) verfügten über grundlegende Kenntnisse bei der Bedienung von PowerPoint. Alle Studierenden waren in der Lage, Folien anzulegen, Bilder einzufügen, Texte zu schreiben und zu formatieren und die Folien grundlegend zu gestalten. In der Medienbildungsveranstaltung wurden zu Beginn des Semesters Grundlagen des Print- und Screendesigns und dabei gestalterische Mittel der Typographie und des Layouts bezüglich verschiedener Verwendungszwecke vermittelt. Dabei kam auch PowerPoint zum Einsatz.

Für die Erstellung des Medienprodukts wurde in beiden Gruppen vor der Intervention eingeführt, wie in PowerPoint Hyperlinks erstellt werden. Dafür wurde zunächst mit Übungsmaterial in Form von Blindtext und beliebigem Bildmaterial gearbeitet und die Hyperlinks wurden innerhalb einer PowerPoint-Datei erstellt, indem beispielsweise Verknüpfungen von der ersten Folie einer PowerPoint-Präsentation auf die zweite oder dritte Folie erstellt wurden. Des Weiteren wurde den Studierenden aufgezeigt, wie sie mit Hilfe von transparenten Formen verweisensensitive Grafiken erstellen können. Das heißt, dass bestimmte Teilbereiche eines Bilds, eines Fotos oder einer Grafik mit einem Hyperlink auf eine andere Folie versehen werden. Eine Anleitung mit Screenshots, die in beiden Veranstaltungen genutzt wurde, findet sich im Anhang auf Seite 354.

In einem weiteren Schritt wurde eingeführt, dass für das zu erstellende Medienprodukt jeder Informationsknoten im Ordner einer Arbeitsgruppe jeweils in Form einer separaten Datei gespeichert wird. Den Studierenden wurde gezeigt, wie jeweils ein Informationsknoten in einer PowerPoint-Datei angelegt wird und wie die Knoten dann zwischen den Dateien verknüpft werden. Diese Vorgehensweise ermöglichte es, dass mehrere Studierende an einem Thema an verschiedenen Knoten in einem Dateiordner arbeiten und dass die Knoten der verschiedenen Arbeitsgruppen verknüpft werden konnten.

#### *Gemeinsame Informationsquellen*

In der explorativen Studie nutzten die Studierenden den Handapparat der Physik nicht. Deshalb wurden beiden Interventionsgruppen, auch wegen der Vergleichbarkeit der verwendeten Materialien, dieselbe Auswahl an Auszügen aus populärwissenschaftlichen und fachwissenschaftlichen Veröffentlichungen sowie aus Schulbüchern zur Verfügung gestellt<sup>11</sup>. Die Texte enthielten biographische Angaben zu Newton, Huygens und Einstein, grundlegende Informationen zu deren Theorien von Licht und wissenschaftshistorische Darstellungen zur Kontroverse um die Natur von Licht. Im Hinblick auf das fachliche Niveau stellte die Auswahl an Texten eine große Bandbreite dar. Die Texte waren so gewählt, dass sowohl die Gruppe der Physikstudierenden als auch die Gruppe der Studierenden ohne das Fach Physik, für sie nutzbare Informationen erhielten. Einen Überblick über die verwendeten Texte findet sich im Anhang, S. 335.

---

<sup>11</sup> Der jeweilige Umfang der zur Verfügung gestellten Textauszüge war mit der Schrankenregelung des Urheberrechts (§ 52a) für die Verwendung in Unterricht und Forschung vereinbar (vgl. Fechner, 2007).



### *Geplanter Verlauf*

Die bewusst offen gehaltene Einstiegsphase der explorativen Studie wurde so abgeändert, dass eine Setzung eines klaren Rahmens bezüglich Zeitplanung und Instruktion sowie Organisation gegeben war, um auch möglichst gleiche Bedingungen in beiden Interventionsgruppen zu gewährleisten. Durchgeführt wurden fünf statt vier Hochschulveranstaltungen je Interventionsgruppe und Maßnahme. Vor der eigentlichen Intervention wurden in beiden Gruppen die für die Intervention notwendigen Grundlagen vermittelt. Dazu gehörten die Vorstellung des didaktischen Konzepts Learning by Design nach Stahl (2009, 2010), die wesentlichen Gestaltungsmittel für Hypertext sowie grundlegende technische Aspekte für die Erstellung von Hypertext mit PowerPoint (vgl. Kapitel 7.3.4).

Die Einführung des Themas und die ersten Instruktionen wurden in beiden Gruppen gleich gestaltet. Da grundlegendes Wissen für die Durchführung des Learning by Design-Konzepts Voraussetzung ist, wurde zu Beginn der Intervention in beiden Gruppen die selbe Einführung mit anschließender Instruktion durchgeführt (Dauer ca. 20 Minuten). Der Einstieg wurde so gestaltet, dass er sowohl Studierende mit und ohne Fachwissen anspricht. Zu Beginn des Einstiegs sahen die Studierenden über die Dauer von 10 Minuten Ausschnitte eines 15-minütigen populärwissenschaftlichen Films des Bayerischen Rundfunks aus der Reihe „Alpha Centauri“ von Harald Lesch mit dem Titel „Was ist Licht?“<sup>12</sup>. Ausgehend von dem Film, in dem das Problem der Frage nach der Natur des Lichts thematisiert wird, wurde der Teilchen- und Wellencharakter des Lichts nochmals zusammenfassend dargestellt, um zwei entsprechende Phänomene zu demonstrieren (Interferenzmuster eines Lasers an einem Gitter und der photoelektrische Effekt). Zudem wurden die drei Forscher Newton, Huygens und Einstein als diejenigen genannt, die für die verschiedenen Erklärungen der Natur des Lichts Bedeutung haben. Die sich anschließende Instruktion enthielt die Zielformulierung für die Learning by Design-Phase, die nachfolgend im Wortlaut wiedergegeben ist und mit der die Fokussierung auf für das Wissenschaftsverständnis relevante Wissen ermöglicht werden sollte:

*„Ziel ist die gemeinsame Erstellung eines Medienprodukts in Form eines Hypertexts ...*

- in dem die Kontroverse zwischen Newton und Huygens und die moderne Deutung Einsteins dargestellt werden.*
- bei der die Persönlichkeiten und das Werk der drei Forscher vorgestellt werden.*
- bei der die grundsätzlichen Ideen der verschiedenen Theorien dargestellt werden.“*

Anschließend wurde mit der folgenden Frage bzw. Arbeitsanweisung die erste Planungsphase in beiden Gruppen initiiert: *„Welche Metapher soll dem Medienprodukt zu Grunde liegen?“*

---

<sup>12</sup> Der Film findet sich unter folgender URL: [http://www.br.de/mediathek/video/sendungen/alpha-centauri/alpha-centauri-licht-2002\\_x100.html](http://www.br.de/mediathek/video/sendungen/alpha-centauri/alpha-centauri-licht-2002_x100.html) (zuletzt gesehen 24.11.2016).

Danach sollten sich die Studierenden in beiden Veranstaltungen in Teilgruppen um die anstehenden Planungsschritte und die Gruppenorganisation kümmern und Ziele für die Arbeit in den Kleingruppen definieren.

Im Unterschied zur explorativen Phase wurde eine weitere Phase eingeplant, in der die Studierenden ausreichend Möglichkeit hatten, sich in gemischten Gruppen über die entstandenen Informationseinheiten aus Phase zwei auszutauschen. Dafür wurde in der Planung vorgesehen, dass sich Mitglieder der einzelnen Unterthemen nach dem Prinzip des Gruppenpuzzles (vgl. Meyerhoff & Brühl, 2015, S. 97) gegenseitig informieren und austauschen. Beim Gruppenpuzzle wird arbeitsteilig eine Aufgabe in mehreren Kleingruppen erarbeitet, um danach in neu gebildeten Gruppen aus Vertretern der Kleingruppen sich über die Ergebnisse der Expertengruppen auszutauschen. In den gemischten Gruppen wurden die Informationseinheiten vorgestellt und mögliche Verlinkungen antizipiert und geplant. Mit der Integration dieser Phase vor der Festlegung der Gesamtstruktur wurde versucht, dem Hinweis der Studierenden aus der explorativen Vorstudie zur Intervention, dass sie mehr Informationen von den Ergebnissen der einzelnen Teilgruppen benötigt hätten, gerecht zu werden.

Des Weiteren wurde die vierte Phase des Learning by Design-Ansatzes nach Stahl modifiziert. Die Studierenden sollten nicht verschiedene Leserperspektiven übernehmen, um den Hypertext aus verschiedenen Nutzerperspektiven nochmals zu betrachten und zu bearbeiten. Für die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses erschien es sinnvoller, die entstandenen Informationseinheiten des Hypertexts nochmals bezüglich der Kontroverse um die Natur des Lichts zu betrachten, entsprechende neue Verbindungen zu planen und gegebenenfalls einzelne ergänzende Informationseinheiten zu erstellen. Deshalb erhielten die Studierenden für die fünfte Phase die Aufgabe, die Kontroverse im Hypertext noch stärker herauszuarbeiten.

Das Wissenschaftsverständnis wurde mit dem revidierten Erhebungsinstrument vor und unmittelbar nach der Interventionsphase erhoben.

Als ergänzende Maßnahme für die Erhebung des Wissenschaftsverständnisses wurden im Anschluss an den zweiten Messzeitpunkt Interviews mit je vier Physikstudierenden und Nichtphysikern durchgeführt, um ergänzende Informationen für etwaige, mit dem Fragebogen gemessene Veränderungen im Wissenschaftsverständnis der Studierenden zu erhalten. Abbildung 10.1 zeigt eine schematische Darstellung der Interventionsmaßnahmen.



Abbildung 10.1: Schematische Darstellung der Interventionsplanung (Hauptstudie)

### 10.3 Ergebnisse der Hauptstudie

Im Ergebnisteil der Hauptstudie wird zunächst der Prozess der Medienproduktion der beiden Interventionsgruppen beschrieben, der mittels teilnehmender Beobachtung erfasst wurde. Dabei werden auch die Arbeitsschritte und die Vorgehensweise grob skizziert, die zu den Zwischenstadien führten.

Anschließend erfolgt die Analyse der mit dem Fragebogen erhobenen quantitativen und qualitativen Daten des ersten und zweiten Messzeitpunkts. Im sich anschließenden Kapitel 10.4 werden Aussagen aus den Interviews in Bezug zu den Daten aus den Fragebogenerhebungen gesetzt, um ein besseres Verständnis der Auswirkungen der Intervention auf das Wissenschaftsverständnis der Studierenden zu ermöglichen.

#### 10.3.1 Zwischenstadien der Medienprodukte der einzelnen Phasen

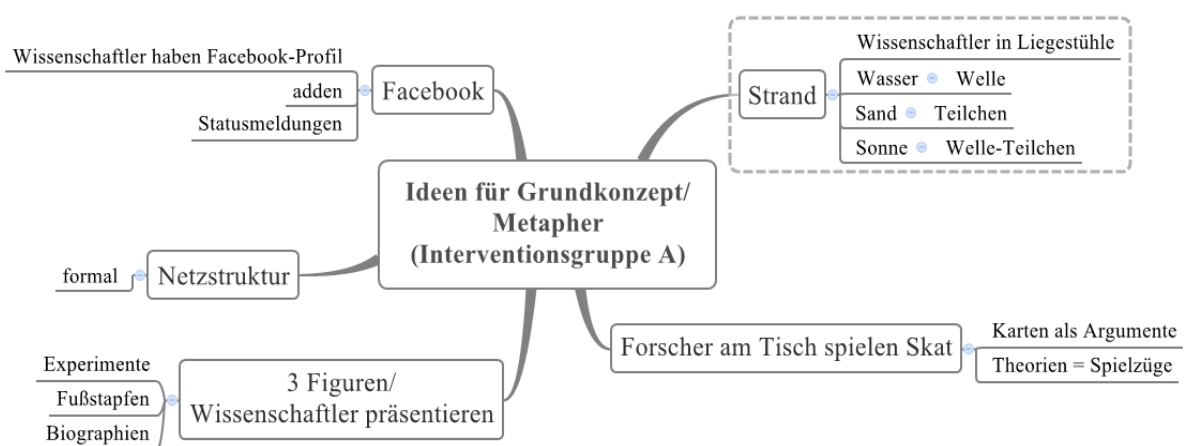
##### 10.3.1.1 Phase 1: Das Grundkonzept des Hypertexts

Nach der Einführung, der Bekanntgabe der Ziele und dem Arbeitsauftrag sammelten und notierten die Studierenden in Einzelarbeit ihre Assoziationen und Ideen für eine mögliche Metapher bzw. das Grundkonzept des Hypertexts, über die sie sich anschließend in Kleingruppen austauschten. In dieser Phase setzten sich die Studierenden erstmalig mit den Inhalten des zu

erstellenden Medienprodukts auseinander und setzten es in Bezug zur Metapher bzw. des Designs des Hypertexts. Es war zu beobachten, wie die Studierenden im Sinne des Knowledge-Transforming-Prozesses (siehe Kapitel 5.3) Wissen zum Thema, das sich zum Teil aus Vorwissen und zum Teil aus Informationen der Einführungsphase speiste, auf die Gestaltung des zu erstellenden Medienprodukts bezogen. Dabei entstanden Ideen für das Grundkonzept bzw. für die Metapher des zu erstellenden Hypertexts. Im Plenum wurden danach die Vorschläge gesammelt und durch Clustering per Overhead-Projektor visualisiert. Abbildung 10.2 und Abbildung 10.3 zeigen die Vorschläge für mögliche Metaphern bzw. Grundkonzeptionen im Wortlaut in grafisch aufbereiteten Darstellungen der Cluster.

#### *Interventionsgruppe A (Physiker)*

In Interventionsgruppe A waren es insgesamt fünf verschiedene Vorschläge für das Gesamtkonzept des zu erstellenden Hypertexts (Abbildung 10.2). Eine Idee war ähnlich wie die in der explorativen Phase: Die Forscher sollten sich wie in einem sozialen Netzwerk zu ihren Positionen austauschen und ihre Ansichten per Statusmeldungen posten. Eine Gruppe plädierte dafür, keine spezielle Metapher als Grundkonzept zu wählen, sondern die Inhalte in einer formalen Struktur netzartig zu gestalten. Eine Gruppe präsentierte die Idee, dass die Forscher an einem Tisch sitzend Skat spielen und jede abgelegte Karte ein Argument darstellen sollte. Spielzüge entsprächen Theorien. In einer linearen Sitestruktur sollte der spätere Rezipient den Spielablauf durchklicken. Eine Gruppe hatte die Idee, die Forscher liegen in Strandstühlen am Meer (Startseite) und beim Klick auf den jeweiligen Liegestuhl erreicht man über einen Hyperlink die Informationsknoten der jeweiligen Forscher. Ein weiterer Vorschlag sollte die drei Forscher präsentieren, die spazieren gehend Fußabdrücke hinterlassen. Die Fußabdrücke sollten Ausgangspunkte für die Hyperlinks zu den Informationseinheiten zu Biographien und Experimenten der Forscher sein.

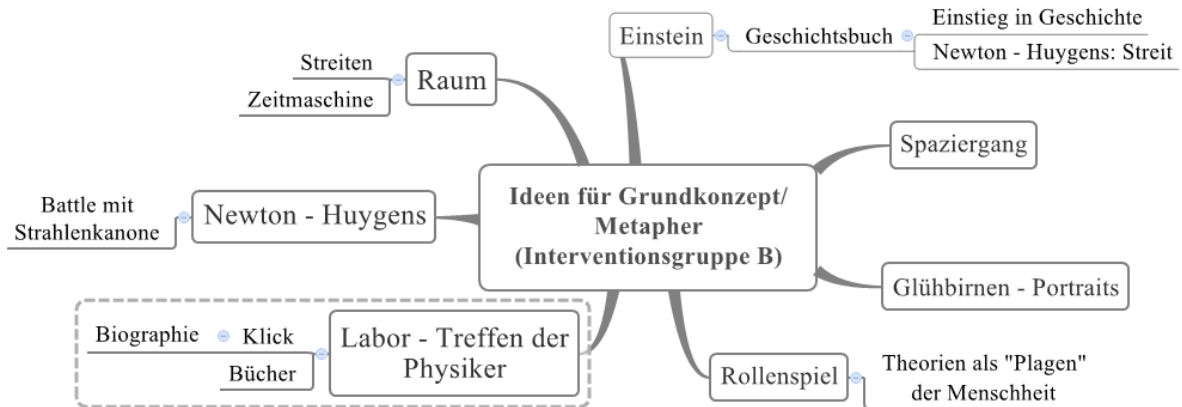


**Abbildung 10.2:** Ideen zum Grundkonzept des Hypertexts (Interventionsgruppe A)

Im Plenum einigte sich die Gruppe auf die Strand-Idee, da der Großteil der Gesamtgruppe die Bezüge Sand – Teilchen, Wasser – Welle und Sonne - Photonen reizvoll fand.

### *Interventionsgruppe B (vorrangig Nichtphysiker)*

In Interventionsgruppe B beinhalteten die Vorschläge Ideen, wie z. B. Einstein in einem Geschichtsbuch blättern und die Theorien von Huygens und Newton aus seiner Sicht kommentierend darzustellen oder wie sich Newton und Huygens mit Strahlenkanonen bekämpfen, die ausgestoßenen Strahlen unterschiedliche Aspekte der Theorien beinhalten und Einstein als Schiedsrichter fungiert.



**Abbildung 10.3:** Ideen zum Grundkonzept des Hypertexts (Interventionsgruppe B)

In der Einigung im Plenum ging es dann hauptsächlich um die Umsetzbarkeit der verschiedenen Ideen, die in manchen Fällen nur mit einem hohen grafischen Aufwand, der Realisierung von Animationen und kleineren Programmabläufen umsetzbar gewesen wäre. Die Gruppe einigte sich dann auf die Raummetapher, bei der sich die verschiedenen Forscher in einem Labor treffen sollten. Vor den Forschern liegende Gegenstände, wie z. B. Bücher oder Versuchsaufbauten, sollten Ausgangspunkte für die Kanten sein, die zu verschiedenen Knoten führen.

#### *10.3.1.2 Phase 2: Die Erstellung einzelner Informationseinheiten*

Nach der Einigung im Plenum auf das Grundkonzept des Hypertexts bildeten die Studierenden in beiden Interventionsgruppen Untergruppen, die sich mit Teilaspekten des Themas auseinandersetzten, Informationseinheiten planten und gestalteten. In beiden Interventionsgruppen bildeten sich Gruppen, die sich schwerpunktmäßig entweder mit biographischen Aspekten der einzelnen Forscher oder ihren Theorien befassten. Bei der folgenden Darstellung der Informationseinheiten ist vermerkt, welche NOS-Aspekte im Medienprodukt sichtbar werden.

### ***Interventionsgruppe A***

In Interventionsgruppe A entstanden in Phase 2 insgesamt 31 Knoten. In den Teilgruppen beschäftigten sich die Studierenden inhaltlich mit folgenden Aspekten. Einige Beispiele der gestalteten Informationsknoten finden sich im Anhang (S. 342):

#### *Biographische Aspekte Newton*

Knoten zu Newtons frühen Jahren, seiner Hauptschaffenszeit und seinen späten Jahren;

#### *NOS-Aspekt: soziokulturelle Einbettung*

Benannt wird, dass Newton von 1703 bis zu seinem Tod Präsident der Royal Society war und

*geadelt wurde und dass 1715 der Streit mit Huygens um die Natur des Lichts vor der Royal Society zu Gunsten Newtons ausging.*

#### *Newtons Theorie von Licht*

Knoten mit einem Überblick seiner größten wissenschaftlichen Erfolge, zur Korpuskeltheorie, dem „Entscheidungsexperiment“ und dem Kreisschluss

*NOS-Aspekte: Beobachten und Schlussfolgerung, Subjektivität und Theoriegebundenheit*

*Es wird knapp benannt, dass Newton mit dem „Korpuskel-Modell“ des Lichts die Phänomene Reflexion, Brechung, Dispersion und Beugung auf dem Hintergrund seiner Überzeugung von Licht als kleinste Teilchen erklärt.*

#### *Biographische Aspekte Huygens*

Knoten zu Huygens Herkunft, Werdegang, herausragende Leistungen, wie z. B. Entdeckung der Saturnmonde, Huygens Pendeluhr und der Wellentheorie des Lichts

*In der Darstellung der Biographie Huygens‘ bleibt es bei der Nennung biographischer Eckdaten. NOS-Aspekte werden nicht sichtbar.*

#### *Huygens‘ Theorie von Licht*

Knoten zur Ausbreitung des Lichts, dem Huygensschen Prinzip, und jeweils eine Folie zur Erklärung der Phänomene Refraktion, Reflexion und Doppelbrechung im Rahmen Huygens‘ Annahmen über die Natur des Lichts.

*NOS-Aspekt: Beobachten und Schlussfolgerung, Theorie und Gesetz, Vorstellungskraft und Kreativität, Subjektivität und Theoriegebundenheit*

*Ausführlich wird in sechs Knoten dargestellt, wie Huygens die Phänomene Reflexion, Refraktion und Doppelbrechung anhand der Vorstellung von Licht als Welle erklärt. Dargestellt wird aus Huygens Sicht, wie sich Lichtstrahlen mechanisch ausbreiten. Die Darstellung des Huygensschen Prinzips, bei dem jeder Punkt einer Wellenfront Ausgangspunkt von Elementarwellen ist, verweist auch auf die Kreativität und Vorstellungskraft Huygens‘ Denken. Deutlich wird auch die Subjektivität und Theoriegebundenheit in Huygens Argumentation, da er alle beobachteten Phänomene auf dem Hintergrund seiner Vorstellung der Natur des Lichts erklärt.*

#### *Biographische Aspekte Einstein*

Je ein Knoten zu Geburt, frühes Erwachsenenalter, Veröffentlichungen, Auswanderung & Nobelpreis, Lebensende

*In der Darstellung der Biographie Einsteins bleibt es bei der Nennung biographischer Eckdaten. NOS-Aspekte werden nicht sichtbar.*

#### *Einsteins Theorie von Licht*

Je ein Knoten zum Welle-Teilchen-Dualismus, zum Photoeffekt und zur Austrittsarbeit und zum Wirkungsquantum,

*NOS-Aspekte: Beobachten und Schlussfolgern, Vorstellungskraft und Kreativität*

*In einem Knoten tritt Einstein in einen fiktiven Dialog mit Newton und Huygens und legt dar,*

*dass sie beide in Teilen Recht hatten. Zu den Theorien von Huygens und Newton werden einerseits das von Hertz beobachtete Phänomen des Photoeffekts als auch die Erkenntnisse von Young und Fresnel angeführt. Es wird deutlich, dass Einstein diese verschiedenen Theorien zusammenführte und so das Konzept des Welle-Teilchen-Dualismus prägte. Hierbei wird Einsteins Vorstellungskraft und Kreativität deutlich, da er die verschiedenen Erklärungen zur Natur des Lichts schlüssig zusammenführte. Auch das Prinzip des Beobachtens und Schlussfolgerns wird deutlich, da Einstein die Schlussfolgerungen zu den beobachteten Phänomenen der verschiedenen Wissenschaftler aufgriff, um seine eigenen Schlüsse zu folgern. In zwei weiteren Knoten wird das zugrunde liegende Phänomen erklärt.*

### ***Interventionsgruppe B***

Insgesamt entstanden in Interventionsgruppe B in der zweiten Phase 47 Knoten:

#### *Biographische Aspekte Newton*

Newton's Leben auf Zeitleiste, Newton's Kindheit, Studium, Newton'sche Gesetze, Gravitationsgesetz, Newton's Optik

#### *NOS-Aspekte: Subjektivität*

*Besonders die Darstellung Newton's Kindheit aus seiner Sicht zeigt deutlich, dass die Bedingungen seines Aufwachsens seine Persönlichkeit dahingehend prägten, dass er später als schwierige Person galt. Er wird als passiver Eigenbrötler dargestellt, der ein verschlossenes Wesen hat.*

#### *Newton's Theorie von Licht*

Spiegelteleskop, Korpuskulartheorie, Erklärung von Brechung und Reflexion im Rahmen der Korpuskulartheorie

*NOS-Aspekte: Beobachten und Schlussfolgerung, Gesetz und Theorie, Subjektivität und Theoriegebundenheit, Vorstellungskraft und Kreativität*

*Newton's Vorstellung von Licht, das aus Korpuskeln besteht, wird vorgestellt und davon ausgehend die Phänomene Reflexion und Brechung ausführlich erklärt. Dabei wird auch der Unterschied zwischen Theorie und Gesetz (Reflexionsgesetz) deutlich. Die Subjektivität und Theoriegebundenheit in Newton's Arbeit wird dadurch deutlich, dass er den Korpuskeln teilweise Wellencharakter zuschreibt, insgesamt aber bei seiner Vorstellung von Licht als Teilchen bleibt.*

#### *Biographische Aspekte Huygens*

Huygens Kindheit und Jugend, Studium, Lebenswerk, Theorien, Lebensabend, Interessantes  
*In der Darstellung der Biographie Huygens bleibt es bei der Nennung biographischer Eckdaten. NOS-Aspekte werden nicht sichtbar.*

#### *Huygens' Theorie von Licht*

*Huygens'sches Prinzip, Äther, Warum sich Huygens Theorie zunächst nicht durchsetzte.*

*NOS-Aspekte: Beobachten und Schlussfolgerung, soziokulturelle Einflüsse, Vorstellungskraft und Kreativität*

*Das Huygens'sche Prinzip wird als theoretische Grundlage dargestellt, von dem ausgehend die*

*Ausbreitung von Licht im Äther erklärt wird (Beobachten und Schlussfolgerung, Vorstellungskraft und Kreativität). Dargelegt wird auch, dass sich die Theorie aufgrund ihrer Unanschaulichkeit und der größeren Popularität Newtons (soziokulturelle Einflüsse) bis ins 19. Jahrhundert nicht durchsetzen konnte*

*biographische Aspekte Einstein*

Kindheit und Jugend, Studium, photoelektrischer Effekt, Stationen, kurz & knapp

*NOS-Aspekte: Umfangreich wird das Leben Einsteins dargestellt. Dabei wird deutlich, dass sein Lebensweg durch besondere Ereignisse geprägt wurde und seine Arbeit beeinflusste. Ein direkter biographischer Bezug zu seiner Theorie von Licht und deren Erfolg wird nicht sichtbar.*

*Einsteins Theorie von Licht*

photoelektrischer Effekt mit Beschreibung und grafischer Darstellung des Versuchsaufbaus, der Erklärung Einsteins und Darstellung des Bezugs zu Huygens und Newtons Theorie

*NOS-Aspekte: Beobachtung und Schlussfolgerung*

*In zwei Knoten werden knapp die theoretischen Grundlagen des Photoeffekts dargelegt. In einem dritten Knoten wird beschrieben, wie die Schlussfolgerungen Einsteins die zuvor konkurrierenden Vorstellungen von Licht bei Newton und Huygens konzeptionell aufeinander beziehen.*

Einzelne Details der Knoten wurden auch noch in späteren Phasen in beiden Gruppen ergänzt bzw. im Rahmen des Setzens der Hyperlinks modifiziert.

#### *10.3.1.3 Phase 3: Festlegung der Gesamtstruktur*

Zu Beginn der dritten Phase stellten sich die Studierenden in beiden Interventionsgruppen in gemischten Gruppen ihre Ergebnisse aus Phase zwei vor, um den Austausch über die Theorien, die Persönlichkeiten der Forscher und die unterschiedlichen Positionen der Kontroverse zu ermöglichen. Hierbei erhielten die Studierenden den Auftrag, mögliche Verlinkungen der Informationseinheiten zu besprechen. In einem nächsten Schritt dieser Phase wurde ausgehend von den Arbeitsergebnissen der Gruppen die Gesamtstruktur festgelegt, indem die Studierenden anhand von Ausdrucken die einzelnen Knoten ordneten, inhaltliche Zusammenhänge besprachen und zu erstellende Hyperlinks zwischen den Knoten mit Hilfe von Wollfäden visualisierten (vgl. dazu Stahl, 2009, S. 253). Das Ergebnis der Strukturierungsphase aus Interventionsgruppe B ist in Abbildung 10.4 dargestellt.

*Interventionsgruppe A*

In Interventionsgruppe A planten die Studierenden zunächst insgesamt 46 Hyperlinks zwischen den Knoten, davon 37 zwischen den Inhalten der Teilgruppen und neun zwischen den Knoten verschiedener Teilgruppen.



### *Interventionsgruppe B*

Die Studierenden der Interventionsgruppe B planten 58 Hyperlinks innerhalb der einzelnen thematischen Aspekte und zunächst drei Hyperlinks zwischen den Inhalten der Teilgruppen.



**Abbildung 10.4:** Visualisierung der Gesamtstruktur anhand von Ausdrucken (Informationsknoten) und Wollfäden (Hyperlinks)

#### *10.3.1.4 Phase 4: Herausarbeitung der Kontroverse*

In Phase 4 tauschten sich die Studierenden der verschiedenen Teilgruppen mit dem Ziel aus, die Kontroverse und die Theorie Einsteins, die wie eine Synthese der Theorien von Newton und Huygens erscheint, stärker herauszuarbeiten. Aus dieser Phase entstand in Interventionsgruppe A ein neuer Knoten, über den die verschiedenen Theorien nochmals zueinander in Bezug gesetzt wurden. Dazu wurden nochmals drei neue Hyperlinks erstellt, die Informationen zu den verschiedenen Theorien miteinander verbinden.

In Interventionsgruppe B wurden drei neue Knoten erstellt, die mit weiteren drei Hyperlinks die verschiedenen Positionen zueinander in Bezug setzten.

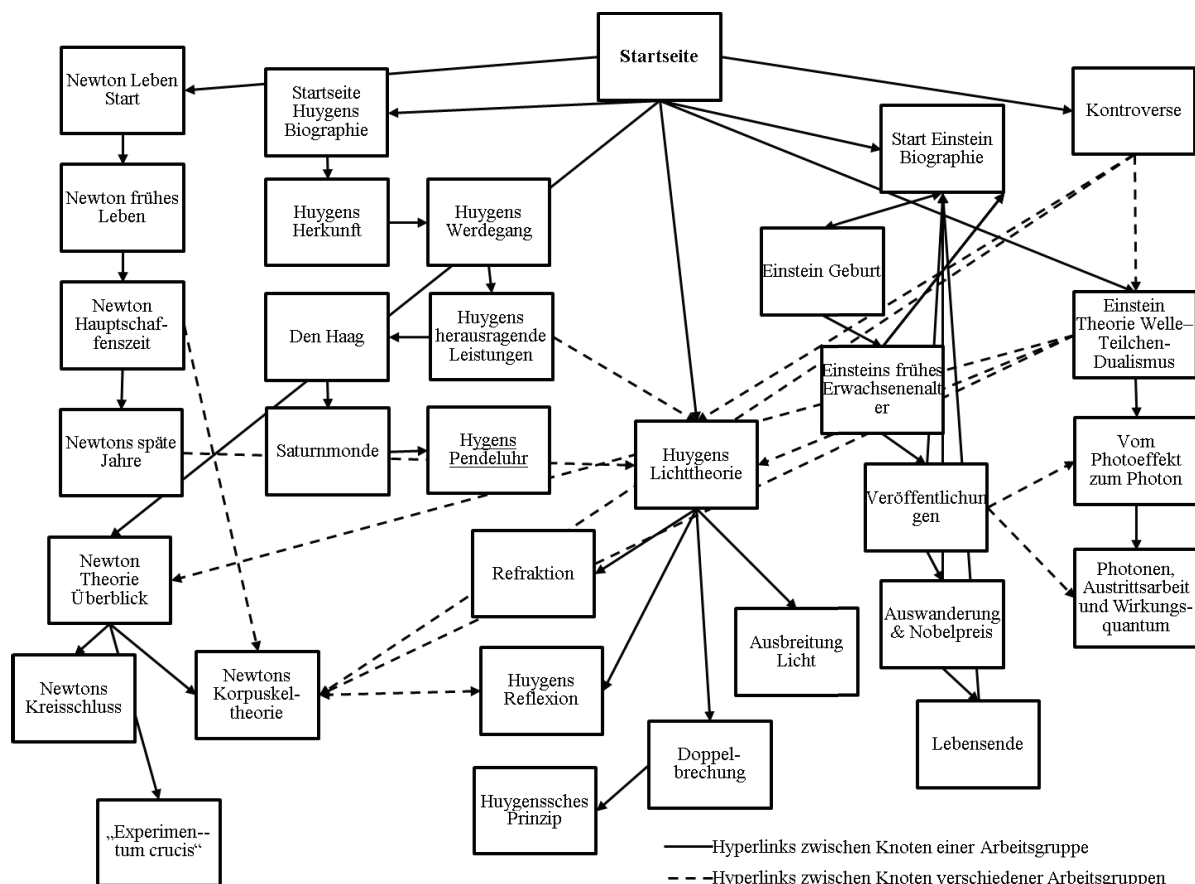
#### *10.3.1.5 Phase 5: Das bewusste Setzen von Hyperlinks*

Die in den vorangegangenen beiden Phasen geplanten Hyperlinks zwischen den Knoten wurden in der letzten Phase der Intervention umgesetzt. In dieser letzten Phase wurden in beiden Interventionsgruppen ausschließlich die Hyperlinks realisiert, die zuvor geplant wurden. Die in den Abbildung 10.5 und Abbildung 10.6 dargestellten Sitestrukturen zeigen den Stand der beiden Hypertexte am Ende des Interventionszeitraums. In beiden Hypertexten verweisen einzelne

Links auf externe Ressourcen im World Wide Web, z. B. auf Java-Applets mit Animationen zur Wellentheorie. Diese Hyperlinks sind in den Abbildungen nicht visualisiert.

Einige der erstellten Hyperlinks verbinden die Knoten häufig nur in eine Richtung. Aufgrund des begrenzten Interventionszeitraums war eine vertiefte Ausarbeitung und Verfeinerung der Navigationsstruktur nicht möglich. Nach Ende des Interventionszeitraums meldeten Studierende zurück, dass sie während des Verlinkens auch weitere mögliche Hyperlinks für inhaltliche Bezüge erkannten und geplant hatten, jedoch zur Realisierung keine Zeit mehr zur Verfügung stand.

Beide Sitestrukturen stellen Mischformen von Baum- und Netzstrukturen dar. Einzelne Teilbereiche der beiden Hypertexte weisen lineare Strukturen auf.



**Abbildung 10.5:** Sitestruktur des Hypertexts der Interventionsgruppe A

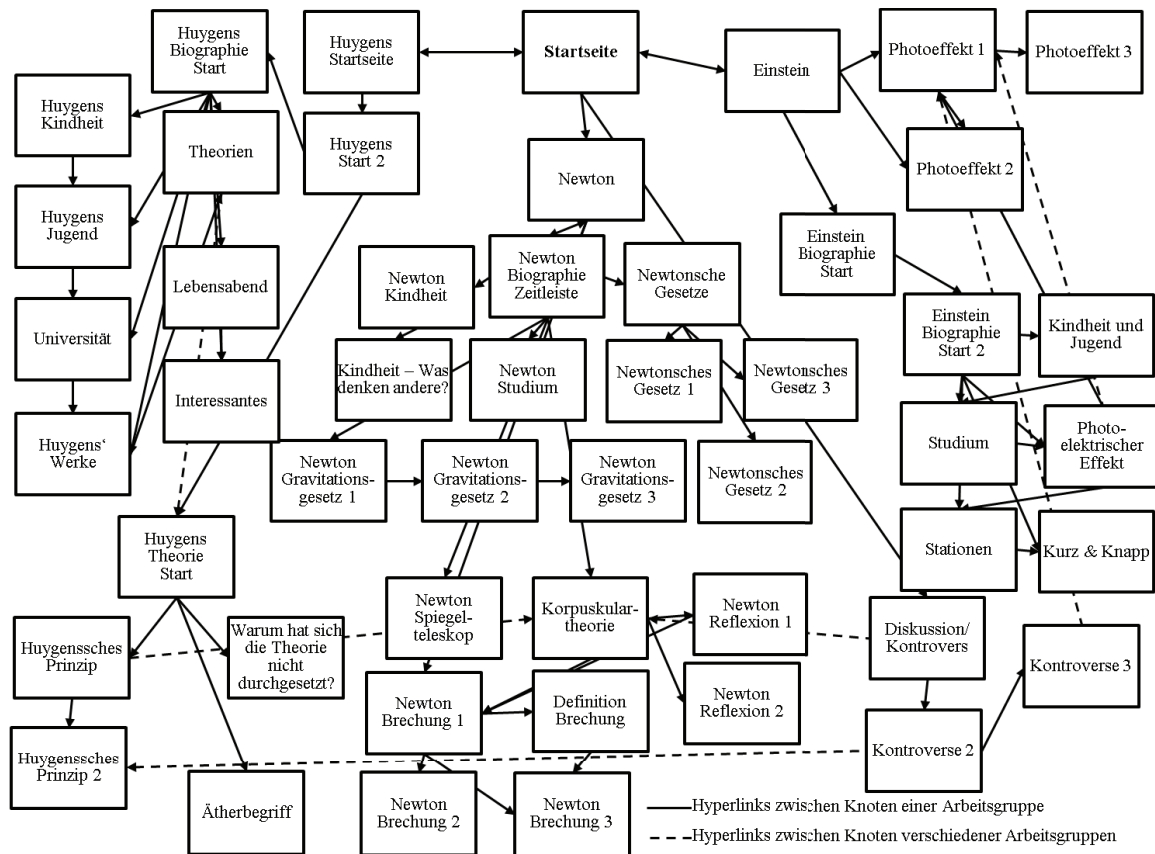


Abbildung 10.6: Sitestruktur des Hypertexts der Interventionsgruppe B

### 10.3.2 Skalenanalyse und Güte der Skalen

#### 10.3.2.1 Skalen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses

Die in den zwei Messzeitpunkten der Hauptstudie genutzten Skalen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses wurden in der Vorstudie zur Pilotierung des Fragebogens mit einer größeren Stichprobe umfangreich analysiert. Eine Analyse der Itemschwierigkeit und der Trennschärfe wird im Rahmen der Hauptstudie deshalb nicht vorgenommen. Dagegen wurde eine Reliabilitätschätzung vorgenommen, indem die interne Konsistenz der Skalen mit Hilfe des Koeffizienten Cronbachs Alpha ermittelt wurde. Die Angaben zu den ermittelten Reliabilitätskoeffizienten finden sich neben den Angaben zur Itemanzahl, Skalenausprägung, arithmetischen Mitteln sowie Standardabweichungen in der folgenden Tabelle 10.2.

In der Hauptstudie wurden wie bei der Pilotierung des Fragebogens die epistemischen Urteile/Überzeugungen der Dimension *Rechtfertigung* beim Umgang mit einer Kontroverse mit Items des TSEBQ erhoben. Bei der Pilotierung des Fragebogens zeigte sich bei der Verwendung von nur drei der ursprünglichen fünf Items eine geringe Reliabilität der Skala. Nach der Hinzunahme weiterer zwei adaptierter Items der Dimension Rechtfertigung in den Fragebogen der Hauptstudie konnte in der Hauptstudie Cronbach's Alpha ( $\alpha = .56$ ) nicht deutlich erhöht werden. Die Skala Rechtfertigung wurde deshalb nicht für die Auswertung der Hauptstudie berücksichtigt.

**Tabelle 10.2:** Reliabilitätsanalyse der Skalen (Hauptstudie)

Skalen	Iteman- zahl	Cronbachs $\alpha$	
		MZP 1	MZP 2
CAEB: Epistemische Urteile: Wissen in Physik (Textur)	8	<b>.83</b>	<b>.85</b>
CAEB: Epistemische Urteile: Wissen in Physik (Variabilität)	5	<b>.66</b>	<b>.78</b>
CAEB: Epistemische Urteile: Wissen über Atome (Textur)	8	<b>.87</b>	<b>.80</b>
CAEB: Epistemische Urteile: Wissen über Atome (Variab.)	5	<b>.84</b>	<b>.84</b>
TSEBQ: Epistemische Urteile im Umgang mit Kontroversen (Sicherheit)	4	<b>.74</b>	<b>.73</b>
TSEBQ: Epistemische Urteile im Umgang mit Kontroversen (Quelle)	3	<b>.71</b>	<b>.64</b>
CAEB: Annahmen zur Ontologie von Gesetzen (Textur)	8	<b>.83</b>	<b>.90</b>
CAEB: Annahmen zur Ontologie von Gesetzen (Variabilität)	5	<b>.75</b>	<b>.85</b>
CAEB: Annahmen zur Ontologie von Theorien (Textur)	8	<b>.85</b>	<b>.85</b>
CAEB: Annahmen zur Ontologie Theorien (Variabilität)	5	<b>.74</b>	<b>.80</b>
VOSE: Ansichten zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft	5	<b>.64</b>	<b>.71</b>
VOSE: Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften	4	<b>.83</b>	<b>.83</b>
VOSE: Ansichten zur Frage, ob Theorien entdeckt oder erfunden werden.	5	<b>.83</b>	<b>.91</b>

Die Skalen des CAEB zeigten bei der Messung der Annahmen zur Ontologie von Theorien und Gesetzen ähnlich zufriedenstellende Reliabilitätswerte wie bei der Messung disziplin- und themenspezifischer epistemischer Urteile.

Der größte Teil der in der Hauptstudie verwendeten Skalen zeigten zum ersten und zweiten Messzeitpunkt eine akzeptable bis gute Reliabilität (vgl. Tabelle 10.2). Die Werte von Cronbachs Alpha liegen lediglich bei drei Skalen entweder beim ersten oder zweiten Messzeitpunkt zwischen  $\alpha = .60$  und  $\alpha = .70$ . Da jeweils der andere Messzeitpunkt eine bessere Reliabilität zeigte und in der Vorstudie mit einer großen Stichprobe ebenso akzeptable bis gute Werte erzielt wurden, wurden diese drei Skalen bei der Auswertung der Hauptstudie berücksichtigt.

### 10.3.2.2 Einschätzung des Kompetenzerwerbs

Die mit dem von Paechter et al. (2007) adaptierten Instrument erhobenen Daten zur Einschätzungen des eigenen Kompetenzerwerbs im Bereich Mediennutzung und der Wissensdomäne wurden in der Hauptstudie einer Item-, Skalen- und Reliabilitätsanalyse unterzogen. Diese Analysen wurden in der explorativen Vorstudie zur Interventionsmaßnahme aufgrund geringer Stichprobengröße nicht durchgeführt. Die Ergebnisse der Analysen dieser im zweiten Messzeitpunkt nach der Learning by Design-Phase erhobenen Daten finden sich in Tabelle 10.3 und Tabelle 10.4.

**Tabelle 10.3:** Items zur Einschätzung des Kompetenzerwerbs durch Learning by Design (nach Paechter et al., 2007) - Erwerb von Mediennutzungskompetenzen (4-stufige Likertskala)

<i>N</i> = 41	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
Ich habe neue Fertigkeiten im Umgang mit dem PC erworben.	3.15	1.11	.79	.82
Ich habe bezüglich der Neuen Medien dazu gelernt.	3.10	.92	.78	.87
Ich habe neue Fertigkeiten im Umgang mit dem Internet erworben.	2.39	1.12	.60	.74
Ich habe neue Fertigkeiten im praktischen Umgang mit neuen Medien erworben.	2.98	1.06	.75	.87
Ich habe Fertigkeiten in der virtuellen Teamarbeit erworben.	2.93	.96	.73	.51
Ich habe neue Fertigkeiten im Umgang mit digitalen Medien erworben.	2.98	.96	.75	.84
<b>Skala</b>	<b>2.92</b>	<b>.86</b>	<b>.73</b>	<b><math>\alpha = .92</math></b>

Die Items der Skala zum Erwerb der Mediennutzungskompetenz weisen insgesamt gute Trennschärfen auf. Zur Berechnung der inneren Konsistenz der Skala wurden deshalb alle Items berücksichtigt. Die innere Konsistenz der Skala mit einem Cronbachs Alpha-Wert von  $\alpha = .92$  ist sehr gut.

**Tabelle 10.4:** Items zur Einschätzung des Kompetenzerwerbs durch Learning by Design (nach Paechter et al., 2007) - Erwerb von Kompetenzen in der Wissensdomäne (4-stufige Likertskala)

<i>N</i> = 41	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
Learning by Design ermöglicht eine sinnvolle und angemessene Behandlung des Lernstoffs.	3.12	.60	.78	.57
Learning by Design unterstützt individuelle Lernprozesse.	3.24	.62	.81	.53
Learning by Design fördert selbstständiges Lernen.*	3.46	.64	.87	.26
Learning by Design ermöglicht mir, den eigenen Lernfortschritt zu überprüfen.	2.78	.61	.70	.39
Learning by Design fördert vernetztes Denken.	3.49	.64	.87	.40
Learning by Design regt zu einer kritischen Auseinandersetzung mit den zu bearbeiteten Inhalten an.	3.05	.84	.76	.41
Learning by Design regt zur vertieften fachlichen Auseinandersetzung an.	2.90	.83	.73	.54
<b>Skala</b>	<b>3.15</b>	<b>.42</b>	<b>.79</b>	<b><math>\alpha = .73</math></b>

**Anmerkung:** Das mit \* gekennzeichnete Item wurde aufgrund geringer Trennschärfe bei der Berechnung des Skalenwerts nicht berücksichtigt.

Die Analyse der Items zeigte, dass das Item „Learning by Design fördert selbstständiges Lernen“ eine geringe Trennschärfe aufweist ( $r_{it} = .26$ ). Es wurde deshalb für die Berechnung der Skala nicht berücksichtigt. Nach Entfernung des Items ergab sich für die Skala ein akzeptabler Cronbachs Alpha-Wert von  $\alpha = .73$ .

### 10.3.3 Deskriptivstatistische Analyse der geschlossenen Items

#### 10.3.3.1 Analyse des Wissenschaftsverständnisses

Tabelle 10.5 gibt die im ersten und zweiten Messzeitpunkt der Hauptstudie ermittelten arithmetischen Mittel und Standardabweichungen der Skalenwerte des Wissenschaftsverständnisses in einer Übersicht wieder.

Ein geringer Wert bei den Skalen des CAEB in der Dimension Textur bedeutet, dass Wissen beispielsweise als genau, objektiv, beweisbar oder absolut beurteilt wird. Ein höherer Wert bedeutet, dass Wissen beispielsweise als ungenau, subjektiv, mehrdeutig, relativ oder unstrukturiert beurteilt wird. Ausgehend von den Mittelwerten liegen die epistemischen Urteile in der Dimension Textur zu disziplinspezifischen Wissen in der Physik sowohl im ersten ( $M = 3.30$ ,  $SD = 0.97$ ) als auch im zweiten Messzeitpunkt ( $M = 3.62$ ,  $SD = 0.99$ ) eher in der Mitte der beschriebenen Ausprägungen des semantischen Differentials. Bezüglich der Dimension Variabilität zeigt sich, dass die Studierenden Wissen in Physik in beiden Messzeitpunkten beispielsweise als eher offen, dynamisch und flexibel, statt als abgeschlossen, statisch und inflexibel beurteilen (MZP 1:  $M = 4.53$ ,  $SD = 0.89$ ; MZP 2:  $M = 4.91$ ,  $SD = 0.99$ ).

**Tabelle 10.5:** Wissenschaftsverständnis: Deskriptive Statistik

Skalen (N = 41)	Skalen-ausprägung	MZP 1		MZP 2	
		M	SD	M	SD
CAEB: Epistemische Urteile: Wissen in Physik (Textur)	1–7	3.30	0.97	3.62	0.99
CAEB: Epistem. Urteile: Wissen in Physik (Variab.)	1–7	4.53	0.89	4.91	1.03
CAEB: Epistemische Urteile: Wissen über die Struktur von Atomen (Textur)	1–7	4.02	0.96	3.88	0.92
CAEB: Epistemische Urteile: Wissen über die Struktur von Atomen (Variabilität)	1–7	4.92	1.06	4.74	1.13
TSEBQ: Epistemische Urteile im Umgang mit Kontroversen (Sicherheit)	1–4	3.14	0.63	3.24	0.51
TSEBQ: Epistemische Urteile im Umgang mit Kontroversen (Quelle)	1–4	2.68	0.72	2.73	0.65
CAEB: Annahmen zur Ontologie von Gesetzen (Textur)	1–7	3.91	0.92	3.99	1.12
CAEB: Annahmen zur Ontologie von Gesetzen (Variab.)	1–7	4.79	0.86	4.82	1.03
CAEB: Annahmen zur Ontologie von Theorien (Textur)	1–7	2.62	0.84	2.75	0.89
CAEB: Annahmen zur Ontologie Theorien (Variabilität)	1–7	3.44	1.07	3.56	1.23
VOSE: Ansichten zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft	1–4	3.41	0.40	3.39	0.48
VOSE: Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften	1–4	2.66	0.68	2.94	0.58
VOSE: Ansichten zur Frage, ob Theorien entdeckt oder erfunden werden	1–4	2.52	0.70	2.64	0.71

Wissen über die Struktur von Atomen wird im ersten Messzeitpunkt im Unterschied zum disziplinspezifischen Wissen in Physik in der Dimension Textur als beispielsweise eher ungenau, subjektiv und relativ ( $M = 4.02$ ,  $SD = 0.96$ ) beurteilt. Bezüglich der Variabilität wird das Wissen

über Atome als beispielsweise eher dynamisch, flexibel und unvollständig (Variabilität:  $M = 4.92$ ,  $SD = 1.06$ ) beurteilt. Es fällt auf, dass sich die Werte der epistemischen Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen im zweiten Messzeitpunkt gegenläufig entwickeln als die Urteile zu disziplinspezifischem Wissen in Physik. Inwiefern dies statistische Relevanz auf die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses hat, wird weiter unten inferenzstatistisch überprüft.

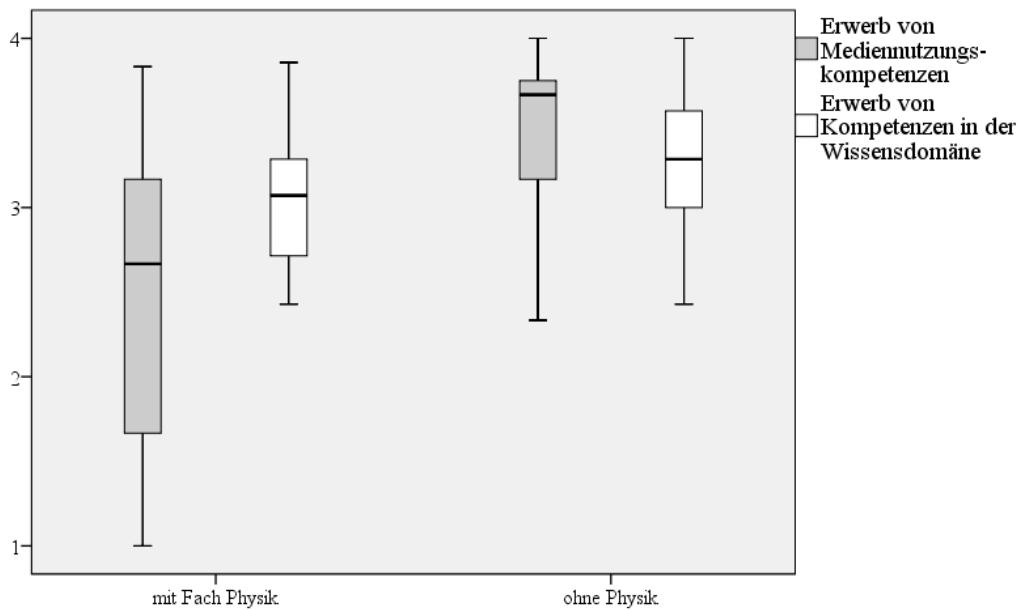
Bezüglich der mit dem CAEB ermittelten Annahmen zur Ontologie von Gesetzen und Theorien fällt auf, dass die Skalenwerte der Dimension Variabilität in beiden Messzeitpunkten jeweils im arithmetischen Mittel höher liegen als die der Dimension Textur. Aspekte wie z. B. die Offenheit, Dynamik und Flexibilität wurden insgesamt höher bewertet als Aspekte wie z. B. Subjektivität, Relativität und Mehrdeutigkeit von Theorien und Gesetzen.

Bei den epistemischen Urteilen im Umgang mit einer Kontroverse stimmten die Studierenden bezüglich der Dimension *Sicherheit* im ersten und zweiten Messzeitpunkt eher zu, dass das heute als sicher geltende Wissen sich schon morgen als falsch heraus stellen könnte, heutige Erkenntnisse vorläufig sind bzw. jederzeit widerlegt werden können. Geringer stimmten sie in der Dimension *Quelle* den gegenläufig gepolten Items zu, die aussagen, dass man akzeptieren muss, was man liest und die Meinung eines Autors bzw. die Informationen in Büchern und Artikeln zum Thema wichtiger sind als die eigens gebildeten Meinungen und Urteile.

Bei den mit den Items des VOSE erhobenen NOS-Ansichten stimmten die Studierenden am ehesten den Ansichten zu, dass Physiker beispielsweise Kreativität und Vorstellungskraft gebrauchen und dies Quelle für Innovationen sei (MZP 1:  $M = 3.41$ ,  $SD = 0.40$ ; MZP 2:  $M = 3.39$ ,  $SD = 0.48$ ). Die geringsten Skalenwert erreichten die Ansichten zur Frage, ob Theorien entdeckt oder erfunden seien (MZP 1:  $M = 2.52$ ,  $SD = 0.70$ ; MZP 2:  $M = 2.64$ ,  $SD = 0.71$ ). Im Sinne der Entwickler des VOSE gelten höhere Werte als Zustimmung zur Ansicht, Theorien werden erfunden. Eine gering stärker durchschnittliche Zustimmung war im ersten Messzeitpunkt bei den Ansichten zu verzeichnen, in denen davon ausgegangen wird, dass soziokulturelle Einflüsse auf die Naturwissenschaften einwirken (MZP 1:  $M = 2.66$ ,  $SD = 0.68$ ). Im zweiten Messzeitpunkt (MZP 1:  $M = 2.94$ ,  $SD = 0.58$ ) stimmten die Studierenden noch stärker zu. Inwiefern es sich hierbei um signifikante Unterschiede handelt, wird weiter unten inferenzstatistisch geprüft.

#### *10.3.3.2 Analyse der Einschätzung des eigenen Kompetenzerwerbs*

Ausgehend von den Mittelwerten der gesamten Stichprobe ist auf Skalenebene zu erkennen, dass die Studierenden Learning by Design sowohl bezüglich des eigenen Kompetenzerwerbs bei der Mediennutzung ( $M = 2.92$ ,  $SD = 0.86$ ) als auch im Hinblick auf den Erwerb von Kompetenzen in der Wissensdomäne ( $M = 3.15$ ,  $SD = 0.42$ ) positiv einschätzen.



**Abbildung 10.7:** Einschätzung des Kompetenzerwerbs durch Learning by Design nach Gruppen (Physiker/Nichtphysiker)

Ein hoher Skalenwert bei „Erwerb der Mediennutzungskompetenzen“ bedeutet den Erwerb neuer Fertigkeiten im Umgang mit dem PC, den neuen Medien oder dem Internet. Ein hoher Wert auf der Skala „Erwerb von Kompetenzen in der Wissensdomäne“ bezeichnet die Einschätzungen, dass Learning by Design beispielsweise individuelle Lernprozesse, vernetztes Denken und eine kritische Auseinandersetzung mit den bearbeiteten Inhalten fördert. Wie die Standardabweichungen und die Boxplots in Abbildung 10.7 zeigen, ist die höhere Streuung der Werte bei der Einschätzung der Mediennutzungskompetenz vor allem auf die hohe Streuung in der Gruppe der Studierenden mit Fach Physik zurückzuführen ( $M = 2.47$ ,  $SD = 0.86$ ).

### 10.3.4 Offene Antworten der Hauptstudie

#### 10.3.4.1 Kategoriensystem

Für die Auswertung der offenen Antworten wurde in der Hauptstudie das Kategoriensystem der Vorstudie genutzt, das mit seinen Haupt- und Subkategorien in Tabelle 10.6 dargestellt ist. Dabei ergaben sich Veränderungen bei den Bezeichnungen einzelner Subkategorien, da Items der Vorstudie nicht in den Fragebogen der Hauptstudie aufgenommen wurden. Das Item der Vorstudie, in dem nach der Sicherheit von Physikern bezüglich des Konstrukts Energie gefragt wurde, wurde nicht in der Hauptstudie berücksichtigt. Entsprechend wurden die Bezeichnungen der folgenden Subkategorien geändert:

- „Atome/Energie als Konstrukt (nicht sichtbar)“ → „Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)“
- „Atome/Energie als Fakten (z. B. Mikroskop, Anziehungskräfte etc.)“ → „Atome als Fakten (z. B. Mikroskop, Anziehungskräfte etc.)“

Die offenen Items mit den Fragen, was ein Experiment ist und ob es Experimente für die Wissensgenerierung in der Physik braucht, wurde ebenfalls nicht in den Fragebogen der Hauptstu-



die aufgenommen. Dennoch wurden Subkategorien wie z.B. „*Experiment beweist (und widerlegt) etwas*“ beibehalten, da die Vorstudie gezeigt hat, dass Ansichten zur Rolle von Experimenten in den Naturwissenschaften auch im ersten offenen Item des Fragebogens mit der Frage „*Was ist Ihrer Ansicht nach Naturwissenschaft?*“ geäußert wurden.

Genauso wie in der Vorstudie markieren die in der Tabelle kursiv gekennzeichneten Hauptkategorien Ergänzungen zu den NOS-Kategorien. Mit diesen Kategorien wurden zum einen die Antworten der ergänzenden Items erfasst, in denen nach der Quelle von Wissen über die Entstehung des Universums und die Sicherheit dieser Quelle gefragt wurde. Des Weiteren wurden in der Kategorie *Beispiele* erfasst, ob die Studierenden Inhaltswissen in Form von Wissen über die Arbeit einzelner Wissenschaftler, ihrer Vorgehensweise und ihrer Theorien haben. Ebenso wurde erfasst, ob die Studierenden angaben, ihre Meinung in einem offenen Item nicht begründen zu können bzw. „*keine Ahnung*“ zu haben.

Die Antworten der offenen Items des ersten und zweiten Messzeitpunkts wurden von denselben Codierern wie in der Vorstudie zugeordnet. Beim Codieren wurde so vorgegangen, dass eine festgestellte Ansicht nur jeweils einmal pro Messzeitpunkt registriert wurde, auch wenn sie von einer Person mehrere Male über alle offenen Items hinweg geäußert wurde.

#### *Güte des Kategoriensystems*

Die Antworten der offenen Items wurden von den beiden Codierern erfasst, die auch die offenen Antworten der Vorstudie codierten. Insofern waren die beiden Codierer vertraut mit den Kategorien der NOS-Ansichten.

Zur Überprüfung der Inter-coder-Übereinstimmung der offenen Antworten der Hauptstudie wurden die Antworten von je fünf Studierenden aus Erst- und Zweiterhebung herangezogen, von beiden Codierern erfasst und die Übereinstimmung überprüft.

Die Inter-coder-Übereinstimmung wurde auf der Ebene der Hauptkategorien anhand des Holsti-Koeffizienten (vgl. Kapitel 9.3.1.3.3) ermittelt, der einen guten Gesamtwert von  $C_R = .89$  aufweist. Eine sehr hohe Übereinstimmung ergibt sich in den Kategorien „keine Ahnung“ ( $C_R = .98$ ) und „Beispiele“ ( $C_R = .97$ ), da die Zuordnung hierbei nahezu eindeutig gelang. Betrachtet man das arithmetische Mittel der Holsti-Koeffizienten der Kategorien, mit denen die NOS-Ansichten erfasst wurden, ergibt sich ein Wert von  $C_R = .85$ , was für den komplexen Sachverhalt des zu codierenden Materials als gut bewertet werden kann.

**Tabelle 10.6:** Kategoriensystem der Hauptstudie

Hauptkategorien	Subkategorien	$C_R$
Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle	<i>eher angemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)</li> <li>• Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung</li> <li>• Naturwissenschaften/Experiment als Mittel der Erkenntnis</li> <li>• Experimente können Theorien nur stützen und/oder widerlegen</li> <li>• Experimente nicht zwingend für Theoriebildung</li> </ul> <i>eher unangemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atome als Fakten (z. B. Mikroskop, Anziehungskräfte etc.)</li> <li>• Experiment (unbedingt) erforderlich</li> <li>• Experiment beweist (und widerlegt) etwas</li> <li>• Experiment veranschaulicht etwas/Schulbezug</li> <li>• Objektiv Daten sammeln</li> </ul>	.85
Empirische Basis	<i>eher angemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interpretation systematischer Beobachtungen Phänomene erklären</li> </ul> <i>eher unangemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aus Beobachtungen Theorien aufstellen</li> <li>• Eindeutig richtige und falsche Antworten</li> <li>• Entdecken von Naturgesetzen/Wahrheiten</li> <li>• Fakten der Natur</li> <li>• Naturwissenschaften sind praktisch orientiert/ als Grundlage für technische Anwendungen</li> </ul>	.84
Kreativität & Vorstellungskraft	<i>eher angemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atom: (kreatives) Konstrukt</li> <li>• Kreativität (im gesamten Forschungsprozess) nötig</li> </ul> <i>eher unangemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreativität nur in einzelnen Phasen nötig</li> <li>• keine Kreativität</li> </ul>	.88
Subjektivität/Theoriegebundenheit	<i>eher angemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Urknall“, Atom; Energie: Interpretation der Forscher</li> <li>• Forschung soziokulturell beeinflusst</li> </ul> <i>eher unangemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Urknall“, Energie: inhaltliche Antwort</li> <li>• „Urknall“: widersprüchliche/uneindeutige Daten</li> <li>• „Urknall“: zeitlicher Abstand/ keine Zeugen</li> <li>• Forschung durch Geld beeinflusst</li> <li>• Universell (z. B. weil Fakten überall gleich)</li> </ul>	.81

Theorien & Gesetze	<p><i>eher angemessene Ansichten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage</li> <li>• keine Hierarchie Theorie/Gesetz</li> <li>• Theorie = etabliertes Denkmodell</li> <li>• Theorie gibt Forschungsrahmen vor</li> <li>• Theorien sind nicht wahr/sind vorläufig</li> <li>• Theorien werden erfunden</li> <li>• Gesetze werden erfunden/durch Menschen gesetzt</li> </ul> <p><i>eher unangemessene Ansichten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesetze = bewiesen/gültig/fest</li> <li>• Theorie = Hypothese / unbewiesene Idee</li> <li>• Hierarchisches Verhältnis</li> <li>• Theorien werden entdeckt/ erfunden</li> <li>• Gesetze werden entdeckt</li> </ul>	.85
Vorläufigkeit	<p><i>eher angemessene Ansichten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Theorienwandel bei neuen Belegen</li> <li>• Theorienwandel bei Neuinterpretation</li> </ul> <p><i>eher unangemessene Ansichten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kein Theorienwandel</li> <li>• Theorienwandel durch technische Innovationen</li> <li>• Theorienwandel wenn Theorie falsch</li> </ul>	.88
Beispiele		.97
Quelle zu Wissen über Entstehung des Universums	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medien</li> <li>• Schule/Ausbildung</li> <li>• Im Austausch mit Anderen</li> <li>• aus Glauben</li> <li>• Philosophie</li> <li>• keine Kenntnisse</li> <li>• direkte Anschauung/eigene Überzeugung</li> </ul>	.94
Woher möglichst sicheres Wissen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachliteratur</li> <li>• TV</li> <li>• Internet</li> <li>• Planetarium</li> <li>• Verschiedene Positionen/Theorien/eigene Meinung</li> <li>• Experten</li> </ul>	.93
„keine Ahnung“		.98
<b>gesamt</b>		<b>.89</b>

---

#### *10.3.4.2 Deskriptive Analyse*

Die sieben offenen Items förderten Ansichten zu Tage, die sich auf verschiedene Aspekte der Nature of Science beziehen. Beispielsweise äußerten Studierende im offenen Item zur Veränderlichkeit Ansichten, die entweder der Hauptkategorie „Theorien & Gesetze“ oder „Vorläufigkeit“ zugeordnet wurden. Ansichten zur Subjektivität/Theoriegebundenheit wurden am häufigsten in den offenen Items zur Rolle soziokultureller Einflüsse in den Naturwissenschaften und dem Item „Umgang mit Kontroversen“ geäußert. Im Unterschied zur Vorstudie wurden Ansichten zur naturwissenschaftlichen Methode kaum geäußert, da im Fragebogen der Hauptstudie kein separates offenes Item Ansichten zu diesem Aspekt erhob. Deshalb wurde diese Kategorie für die Auswertung der Hauptstudie nicht berücksichtigt.

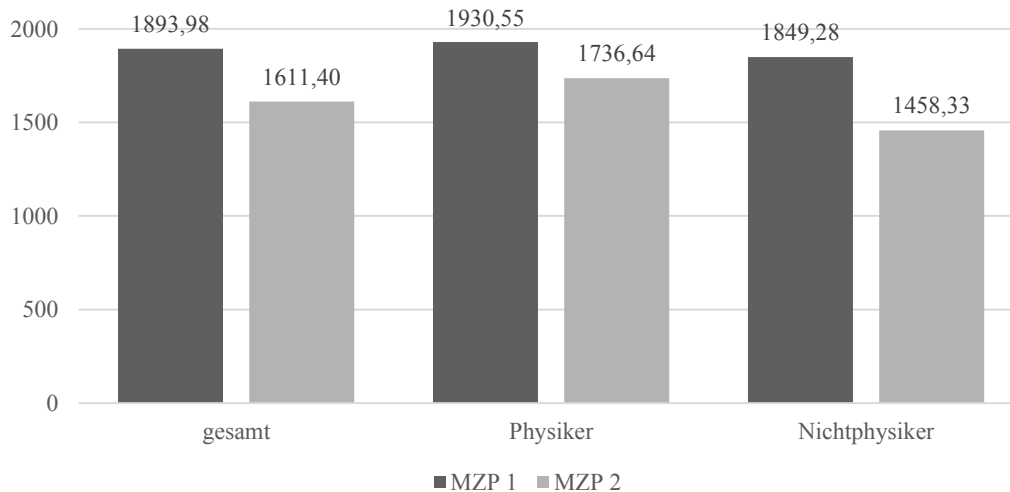
In Tabelle 10.7 sind die absoluten Häufigkeiten der erfassten angemessenen und unangemessenen Ansichten aller Teilnehmenden des ersten und zweiten Messzeitpunkts je Hauptkategorie mit jeweiligen Beispielen aufgeführt. Der Vergleich zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt zeigt in den verschiedenen Kategorien ganz unterschiedliche Entwicklungen. So sind beispielsweise in der Kategorie „Beobachtungen/Schlussfolgerungen, Denkmodelle“ im zweiten Messzeitpunkt im Verhältnis zu den codierten angemessenen Ansichten weniger unangemessene Ansichten erfasst worden. Eine gegenläufige Veränderung ist beispielsweise in der Kategorie „Kreativität & Vorstellungskraft“ zu erkennen.

**Tabelle 10.7:** Häufigkeiten erfasster Ansichten beider Messzeitpunkte

Hauptkategorie		absolute Häufigkeiten		Beispiele aus Erst- oder Zweiterhebung
		MZP 1	MZP 2	
Beobachtungen/ Schlussfolgerungen, Denkmodelle	a	26	27	Das Problem ist und bleibt, dass keiner jemals ein Atom gesehen hat, und somit jede Vorstellung nur ein Modell der Realität sein kann. (MZP 1)
	u	13	7	Wissenschaftler benutzen Theorien, Formeln und Geräte wie Messinstrumente, Mikroskope um das Aussehen von Atomen zu bestimmen. (MZP 1)
Empirische Basis	a	23	19	Naturwissenschaft befasst sich mit der Beobachtung, Beschreibung der Natur und liefert Erklärungen für Naturphänomene. (MZP 1)
	u	21	19	Naturwissenschaften befassen sich überwiegend mit Fakten und mit Gegenständlichem. (MZP 2)
Kreativität & Vorstellungskraft	a	46	37	Um etwas letztendlich mit der Physik und/oder mathematischen Formeln zu beschreiben, muss man ein erkanntes Phänomen ja in eine Form packen. Da es die Form vorher nicht gab, ist diese immer von Vorstellungskraft und/oder Kreativität abhängig. (MZP 2)
	u	13	16	z. B. Einsteins „Gedankenblitz“ zur Relativitätstheorie, Newtons Apfel (Entdeckung der Schwerkraft) waren beides Quellen für ihre großartigen Entdeckungen. Danach benötigt der Forscher allerdings naturwissenschaftliche Methoden, um Beweise führen zu können, Experimente durchzuführen etc.. (MZP 1)
Subjektivität/ Theoriegebundenheit	a	55	55	Vollständige Objektivität ist nie gewährleistet und auch Forscher sind mit einem gewissen „Zeitgeist“ sowie den herrschenden Normen und Werten geprägt. Die Kultur und Gesellschaft beeinflusst auch die Richtung in die geforscht wird. (MZP 1)
	u	26	30	Ich glaube, dass diese Theorien einfach nicht eindeutig begründbar sind, dass es Lücken in der Forschung und Erkenntnis gibt, so dass vielleicht scheinbar widersprüchliche Ergebnisse auftauchen können. (MZP 2)
Theorien & Gesetze	a	20	17	Theorien sind Konstrukte, welche es erlauben sollen, den Sachverhalt möglichst gut zu verbildlichen, so dass man ihn versteht. Theorien und Modelle sollen also einen Umgang ermöglichen. Daher werden sie mehr oder weniger geformt, damit dies möglich ist. (MZP 2)
	u	21	21	Theorien beruhen meist auf unzähligen Versuchen und Beobachtungen. Diese Versuchsbeobachtungen werden als Theorien bezeichnet, wenn diese nicht 100% bewiesen werden können. (MZP 1)
Vorläufigkeit	a	22	22	Theorien sind dazu da, die auftretenden Ereignisse möglichst gut zu beschreiben und vorausszusagen. Werden neue Fakten bekannt, muss die Theorie auf ihre Gültigkeit überprüft werden und eventuell angeglichen oder ganz neu strukturiert werden. (MZP 1)
	u	21	15	Theorien verändern sich deshalb, weil mit z. B. besseren Messinstrumenten Theorien verbessert oder widerlegt werden können. (MZP 1)

**Anmerkung:** a = angemessene Ansichten; u = unangemessene Ansichten; 1 = erster Messzeitpunkt; 2 = zweiter Messzeitpunkt; MZP = Messzeitpunkt

Bei der Analyse der Antworten der offenen Items fiel auf, dass einige Studierende im zweiten Messzeitpunkt weniger Text als im ersten Messzeitpunkt produziert haben. Es stellte sich die Frage, ob die Studierenden im zweiten Messzeitpunkt insgesamt weniger geschrieben haben als im ersten Messzeitpunkt, da dies beispielsweise auf eine geringere Motivation bei der Beantwortung der offenen Fragen im zweiten Messzeitpunkt schließen lässt.



**Abbildung 10.8:** Durchschnittliche Zeichenzahl der Antworten in den offenen Items der Hauptstudie

Die in Abbildung 10.8 dargestellten durchschnittlichen Zeichenzahlen des ersten und zweiten Messzeitpunkts weisen die Tendenz auf, dass die Studierenden insgesamt beim zweiten Messzeitpunkt weniger Text als beim ersten Messzeitpunkt produzierten.

Anhand einer einfaktoriellen MANOVA mit Messwiederholung wurde überprüft, ob die Differenzen in der Zeichenzahl der offenen Items zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt statistisch signifikant sind. Dabei fungierten die Zeichenzahlen der offenen Items als abhängige Variablen und Fachzugehörigkeit (Physiker/Nichtphysiker) als unabhängige Variable. Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt hinsichtlich des Faktors Zeit, Hotelling-Lawley Trace:  $T = 0.71$ ,  $F(7, 33) = 3.36$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .41$ . Es ergab sich kein Interaktionseffekt zwischen Messzeitpunkt und Gruppenzugehörigkeit,  $T = 0.26$ ,  $F(7, 33) = 1.22$ ,  $p = .32$ . Demnach haben die Physikstudierenden im zweiten Messzeitpunkt nicht signifikant mehr oder weniger als die Nichtphysiker geschrieben. Die univariate Analyse der Innersubjektfaktoren zeigte, bei welchen offenen Items maßgeblich weniger geschrieben wurde. Signifikant weniger wurde beim offenen Item zur Veränderlichkeit von Theorien in der Physik geschrieben,  $F(1, 38) = 6.02$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .14$ . Einen statistischen Trend erkennt man bei den offenen Items zu „Kreativität & Vorstellungskraft“,  $F(1, 38) = 3.72$ ,  $p = .061$ , sowie dem Item mit der Frage „Was ist Naturwissenschaft?“,  $F(1, 38) = 3.67$ ,  $p = .063$ .

Durch den unterschiedlichen Grad der Ausführlichkeit und Elaboriertheit entsteht das methodische Problem, dass die Anzahlen erfasster angemessener und unangemessener Sichtweisen der beiden Messzeitpunkte, wie sie in Tabelle 10.7 aufgeführt sind, nicht ohne Weiteres inferenzstatistisch miteinander verglichen werden können. Auch bei der inhaltlichen Analyse der

Unterschiede zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt wird deutlich, dass der bloße inferenzstatistische Vergleich der Quantitäten an angemessenen und unangemessenen Ansichten mit Schwierigkeiten verbunden ist, wie die Beispiele in Tabelle 10.8 zeigen.

**Tabelle 10.8:** Exemplarische Antworten des ersten und zweiten Messzeitpunkts der Kategorien „Theorien & Gesetze“ und „Subjektivität/Theoriegebundenheit“

	Kategorie	Messzeitpunkt	Wörtliche Wiedergabe der Antwort
Tln 16	Theorien & Gesetze	MZP 1	Denn nehmen wir z. B. die Mathematik, sie wurde auf allen Kontinenten (zwar unterschiedlich fortgeschritten) entdeckt oder entwickelt. Wie man es nimmt. Aber es ist ein so faszinierendes Gebilde auf das aufgebaut werden kann und in sich so logisch, dass es eigentlich nur entdeckt werden kann.
		MZP 2	Ich glaube eher an das Entdecken einer Theorie. Denn durch mehrere Experimente werden neue Puzzleteile aufgedeckt/entdeckt und das Bild gibt sich langsam preis.
Tln 40	Subjektivität/Theoriegebundenheit	MZP 1	Ich vermute, dass Naturwissenschaftler sich nicht von kulturellen Vorstellungen/Werten beeinflussen lassen. Ihre Ergebnisse sollten schließlich auch von anderen nachvollzogen werden können und deswegen sollten sie objektiv die Dinge betrachten. Ein Naturwissenschaftler kann nicht behaupten, dass die Erde flach ist, nur weil die damalige Gesellschaft dies für richtig hielt, wenn alle Argumente dagegen sprechen.
		MZP 2	Ich glaube, dass Naturwissenschaftler von kulturellen Werten geleitet sind. Ein Beispiel dafür weiß ich gerade nicht

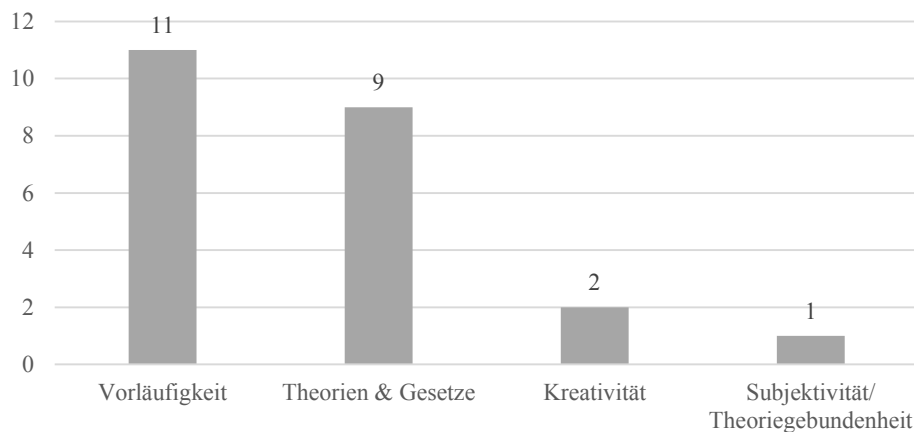
Beide Aussagen von Tln 16 in Tabelle 10.8 wurden in der Subkategorie „Theorien werden entdeckt“ der Hauptkategorie „Theorien & Gesetze“ erfasst. Ansichten dieser Subkategorie gelten als eher unangemessen. Beim Vergleich der Nennungen nach Kategorien würde kein Unterschied zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt zu erkennen sein, obwohl sich die Äußerungen in den beiden Messzeitpunkten auf unterschiedliche Kontexte beziehen (MZP 1: Mathematik; MZP 2: Experiment/Naturwissenschaften) und dadurch einen qualitativen Unterschied aufweisen.

Das Beispiel von Tln 40 in Tabelle 10.8 zeigt zwar eine positive Veränderung der Ansicht der Kategorie „Subjektivität/ Theoriegebundenheit“, wobei aufgrund der verkürzten Argumentation im zweiten Messzeitpunkt der Grund für die Veränderung nicht nachvollzogen werden kann.

Beim Codieren der von den Studierenden genutzten Beispiele in den Antworten der offenen Items wurde auch erfasst, ob und in welchem Zusammenhang sich die Studierenden bei der Zweiterhebung auf Inhalte aus der Interventionsphase bezogen haben. Bei etwa der Hälfte der Teilnehmenden konnten inhaltliche Bezüge zur Learning by Design-Phase festgestellt werden. Von den 41 Studierenden nutzten 19 mindestens einmal Inhalte aus der Interventionsphase, um ihre Ansichten und Meinungen zu begründen, zu belegen oder zu illustrieren. Dabei verteilten sich diejenigen Äußerungen, die Bezüge zur Intervention in ihrer Argumentation herstellten

gleichermaßen auf die Gruppe der Physiker ( $N = 10$ ) und Nichtphysiker ( $N = 9$ ). Insgesamt sind es demnach 22 Studierende, die in keinem der offenen Items Bezüge zur Intervention herstellten und stattdessen entweder keine Beispiele oder Inhalte aus anderen Bereichen der Physik oder Naturwissenschaften nutzen, um ihre Argumentation zu stützen, zu belegen oder zu illustrieren.

Wenn Bezüge zwischen einzelnen NOS-Ansichten und den Inhalten der Intervention hergestellt wurden, erfolgte dies schwerpunktmäßig in bestimmten offenen Items bzw. im Zusammenhang mit bestimmten NOS-Aspekten. Die im zweiten Messzeitpunkt erhobenen Inhalte, die sich auf die Interventionsphase beziehen, wurden im Zusammenhang mit Ansichten der Kategorien „Vorläufigkeit“, „Theorien & Gesetze“, „Kreativität“ oder „Subjektivität/Theoriegebundenheit“ angeführt. Abbildung 10.9 zeigt auf, dass interventionsbezogene Inhalte vor allem im Zusammenhang mit Ansichten zur Vorläufigkeit genannt wurden.



**Abbildung 10.9:** Bezüge von NOS-Aspekten zu Inhalten der Interventionsphase

Die folgenden beiden Aussagen eines Nichtphysikers zeigen, wie er zu beiden Messzeitpunkten von der Vorläufigkeit von Theorien ausging und sich dabei im ersten Messzeitpunkt auf ein Beispiel der Veränderung des Weltbilds vom geozentrischen zum heliozentrischen bezieht:

„Nichts ist ewig und endgültig belegt. Es können immer wieder neue Erkenntnisse aus der Forschung hervorgehen und alte Theorien verändern oder komplett ablösen. Ein Beispiel hierfür wäre die Theorie des Weltbildes. Das geozentrische Weltbild wurde auch durch eine neue Erkenntnis, die des heliozentrischen Weltbildes, abgelöst.“  
(Tln 5, MZP 1)

Im zweiten Messzeitpunkt argumentiert dieselbe Person ebenfalls für die Vorläufigkeit von Theorien in der Physik, bezieht sich in ihrer Argumentation jedoch auf Inhalte der Interventionsphase:

„Newton und seine Theorie zu Licht und daneben die Theorie zu Licht von Huygens. Erst Jahre später ergibt sich durch Einstein eine „neue Theorie“, die die alten beiden Theorien zu einer kompletten vereint. Diese Theorie bleibt nun solange bestehen, bis die Forschung neue Sachverhalte entdeckt und die Theorie durch eine andere abgelöst wird.“ (Tln 5, MZP 2)



In diesem Beispiel wird deutlich, wie die/der Teilnehmende sowohl im ersten als auch im zweiten Messzeitpunkt ihre Ansichten zur Veränderlichkeit mit passendem Inhaltswissen darstellen kann, wobei im zweiten Messzeitpunkt der Zusammenhang der Ansichten zur Veränderlichkeit von Theorien mit Inhalten der Intervention hergestellt wird.

**Zusammenfassend** lässt sich nach einer ersten Analyse der offenen Antworten der Hauptstudie festhalten, dass eine rein inferenzstatistische Auswertung, bei der die Summenscores der offenen Antworten aus Erst- und Zweiterhebung verglichen werden, wenige bzw. irreführende Hinweise über die Veränderungen im Wissenschaftsverständnis liefern würde. Der Grund dafür liegt darin, dass die Studierenden bei der Zweiterhebung zum einen deutlich weniger geschrieben haben. Zum anderen bezogen sich die Studierenden in der Darlegung ihrer Argumente und Sichtweise bei der Zweiterhebung teilweise auf andere verschiedene Inhalte bzw. Kontexte als bei der Ersterhebung. Ob sich eine Veränderung im Wissenschaftsverständnis bei den Studierenden in den offenen Items zeigt, kann demnach nur im Einzelfall und unter Berücksichtigung des Kontexts entschieden werden.

Für die Analyse der Veränderungen im Wissenschaftsverständnis erscheint es deshalb zweckmäßiger, die Antworten der offenen Items heranzuziehen, um damit bedeutsame Veränderungen auf Skalenebene zu erklären.

Des Weiteren ergibt sich bezüglich der Wirksamkeit der Interventionsmaßnahme die Frage, ob in der Gruppe derer, die bei der Zweiterhebung Bezüge zu den Inhalten der Intervention erkannten und explizit herstellten, sich das Wissenschaftsverständnis gleichermaßen verändert hat, wie in der Gruppe derjenigen, die keine Bezüge herstellte.

#### 10.3.5 Analyse des Wissenschaftsverständnisses und die Auswirkungen der Intervention

Bei der inferenzstatistischen Analyse des Wissenschaftsverständnisses zwischen den Gruppen und der Auswirkung der Intervention auf das Wissenschaftsverständnis wurde immer so vorgegangen, dass zunächst das Wissenschaftsverständnis multivariat zwischen den Gruppen bzw. den Messzeitpunkten verglichen wurde.

Da die Untersuchung der Veränderungen des Wissenschaftsverständnisses in dieser Studie explorativen Charakter hat, wäre es sogar vertretbar gewesen, die Gruppenunterschiede bzw. Veränderungen zwischen den beiden Messzeitpunkten univariat für jeden einzelnen Skalenwert zu untersuchen. Nach Bortz und Schuster (2010) ist die Überprüfung von Unterschieden für jede einzelne abhängige Variable nämlich dann zu rechtfertigen, wenn nicht die Hypothesenprüfung, „sondern die Erkundung der wechselseitigen Beziehungen der abhängigen Variablen untereinander und ihrer Bedeutung für Gruppenunterschiede“ (Bortz & Schuster, 2010, S. 472) im Vordergrund stehen. Da im Rahmen dieser Arbeit Wissenschaftsverständnis als ein durch unterschiedliche abhängige Variablen gebildetes Konstrukt verstanden wird, wurden jedoch

trotzdem jeweils multivariate Globaltest durchgeführt, um davon ausgehend die weitere Vorgehensweise zu begründen.

#### *10.3.5.1 Das Wissenschaftsverständnis vor Beginn der Learning by Design-Phase*

Als Ausgangspunkt für die Analyse der Auswirkungen der Intervention wurde zuerst das Wissenschaftsverständnis zum Zeitpunkt der Ersterhebung untersucht. Dafür wurden, wie auch in der Vorstudie, die disziplin- und themenspezifischen epistemischen Urteile inferenzstatistisch verglichen. Zusätzlich wurden auch die Skalen der Annahmen zur Ontologie von physikalischen Theorien und Gesetzen miteinander verglichen, was in dieser Form in der Vorstudie nicht erfolgte. Des Weiteren wurde untersucht, ob sich das Wissenschaftsverständnis der Physikstudierenden und Nichtphysiker vor Beginn der Learning by Design-Phase unterschieden hat. Zu diesem Zweck wurden Skalen und in den offenen Items geäußerte Ansichten verglichen.

##### *Vergleich von disziplin- und themenspezifischen epistemischen Urteilen*

Die Dimensionen Textur und Variabilität disziplinspezifischer und themenspezifischer epistemischer Urteile der CAEB-Skalen zu „Wissen in Physik“ und „Wissen über die Struktur von Atomen“ wurden jeweils anhand von  $t$ -Tests verglichen.

Zwei  $t$ -Tests wurden durchgeführt und entsprechend das Alphaniveau auf  $p = .025$  ( $.05/2$ ) adjustiert. Beide  $t$ -Tests zeigten, dass sich die epistemischen Urteile zu Wissen in Physik von denen zum Wissen über die Struktur von Atomen in beiden Dimensionen signifikant unterschieden. Bezüglich der Dimension Variabilität bildeten die Studierenden die Urteile, dass themenspezifisches Wissen über die Struktur von Atomen ( $M = 4.92$ ,  $SD = 1.06$ ) z. B. offener, widerlegbarer oder unvollständiger im Vergleich zu disziplinspezifischem Wissen in Physik ( $M = 4.52$ ,  $SD = 0.89$ ) sei,  $t(40) = -2.67$ ,  $p < .025$ ,  $d_z = 0.42$ . Bezüglich der Dimension Textur schätzten die Studierenden das Wissen über die Struktur von Atomen ( $M = 4.02$ ,  $SD = 0.96$ ) ebenso signifikant anders als disziplinspezifisches Wissen in Physik ein ( $M = 3.30$ ,  $SD = 0.97$ ),  $t(40) = -5.27$ ,  $p < .000$ ,  $d_z = 0.82$ . Demnach wird in der gesamten Stichprobe disziplinspezifisches Wissen in Physik beispielsweise als deutlich objektiver, beweisbarer, eindeutiger, strukturierter sowie genauer beurteilt als das themenspezifische Wissen über die Struktur von Atomen.

##### *Vergleich der Annahmen zur Ontologie von physikalischen Theorien und Gesetzen*

Die mit dem CAEB erhobenen Annahmen zur Ontologie physikalischer Theorien und Gesetze wurden ebenso anhand von  $t$ -Tests miteinander verglichen. Sowohl in der Dimension Textur als auch in der Dimension Variabilität unterscheiden sich die Annahmen zu physikalischen Gesetzen von den Annahmen zu physikalischen Theorien signifikant. So gehen die Studierenden bezüglich der Textur/Struktur davon aus, dass physikalische Gesetze ( $M = 2.62$ ,  $SD = 0.84$ ) im Vergleich zu Theorien ( $M = 3.91$ ,  $SD = 0.92$ ) beispielsweise exakter, absoluter, eindeutiger oder strukturierter sind,  $t(39) = -6.95$ ,  $p < .000$ ,  $d_z = 1.10$ . Im Hinblick auf die Dimension Variabilität wurden physikalische Theorien ( $M = 4.79$ ,  $SD = 0.86$ ) im Vergleich zu physikalischen Gesetzen

( $M = 3.44$ ,  $SD = 1.07$ ) als offener, widerlegbarer, dynamischer, flexibler sowie unvollständiger eingeschätzt,  $t(39) = -7.22$ ,  $p < .000$ ,  $d_z = 1.14$ .

*Vergleich des Wissenschaftsverständnisses auf Skalenebene zwischen den Gruppen*

Um das erhobene Wissenschaftsverständnis zwischen Physikern und Nichtphysikern global auf Skalenebene zu vergleichen, wurde eine einfaktorielle multivariate Varianzanalyse mit dem Faktor „Gruppe“ und allen das Wissenschaftsverständnis betreffenden 13 Skalen als abhängige Variablen durchgeführt. Die Voraussetzungen der Normalverteilung und der Varianzhomogenität der abhängigen Variablen sowie die Homogenität der gruppenspezifischen Varianz-Kovarianz-Matrizen zur Durchführung einer MANOVA waren gegeben.

Das Ergebnis der MANOVA zeigte auf Skalenebene keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Wissenschaftsverständnis der Physikstudierenden und dem der Nichtphysiker,  $F(13, 26) = 1.01$ ,  $p = .474$ .

*Vergleich des Wissenschaftsverständnisses auf Ebene der Antworten aus den offenen Items*

Anhand von nichtparametrischen Verfahren wurde untersucht, ob ein gruppenspezifischer Unterschied zwischen den Summenscores angemessener und unangemessener Ansichten im ersten Messzeitpunkt besteht. Dafür wurden zunächst jeweils die Summen aller angemessener und unangemessener Ansichten über die Kategorien hinweg mit zwei Mann-Whitney U-Tests zwischen den Gruppen verglichen und dabei das Alphaniveau jeweils auf  $p = .025$  angepasst. Bei den unangemessenen Ansichten zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Dagegen ergab sich bei der Anzahl codierter angemessener Sichtweisen ein signifikanter Unterschied zwischen den Physikern und Nichtphysikern. Die Physikstudierenden ( $Mdn = 5$ ) zeigten im Vergleich zu den Nichtphysikern ( $Mdn = 3$ ) in der Summe hochsignifikant mehr angemessene Ansichten,  $U = 66.00$ ,  $z = -3.64$ ,  $p < .001$ ,  $r = -.58$ . Es wurden auf Ebene der Hauptkategorien weitere Mann-Whitney U-Tests durchgeführt, um zu erkunden, auf welche Aspekte die Differenz im Summenscore der angemessenen Sichtweisen zurückzuführen ist. Es handelt sich dabei um Ansichten der Kategorie „Theorien & Gesetze“ ( $U = 153.00$ ,  $z = -2.14$ ,  $p < .05$ ,  $r = -.34$ ), „Empirische Basis“ ( $U = 115.00$ ,  $z = -2.55$ ,  $p < .05$ ,  $r = -.40$ ) und „Rolle der Kreativität“ ( $U = 98.00$ ,  $z = -2.93$ ,  $p < .01$ ,  $r = -.46$ ). Nachfolgend finden sich Beispiele von Aussagen Physikstudierender, die als angemessene Ansichten in den jeweiligen Kategorien erfasst wurden.

„Physik/Naturwissenschaften basieren auf Experimente, Beobachtungen und versuchen durch Modelle (und Formeln) die Natur zu beschreiben.“ (Tln 27, Kategorie „Empirische Basis“)

„Ein Beispiel hierfür ist das Atommodell, dass sich auch im Wandel der Zeit weiterentwickelt hat z. B. das Orbitalmodell, wenn es darum geht Modelle zu bilden oder Hypothesen aufzustellen ist Vorstellungskraft und auch Kreativität unabdingbar. Mo-

dellierungsprozesse oder das Entdecken von Zusammenhängen ist ein kreativer Prozess, denn es gibt keinen Algorithmus, der dabei hilft.“ (Tln 41, Kategorie „Kreativität & Vorstellungskraft“).

„Theorien sind dazu da, die auftretenden Ereignisse möglichst gut zu beschreiben und vorausszusagen. Werden neue Fakten bekannt, muss die Theorie auf ihre Gültigkeit überprüft werden und eventuell angeglichen oder ganz neu strukturiert werden.“ (Tln 34, Kategorie „Theorien & Gesetze“)

#### *Verhältnis der Ergebnisse zwischen Skalen und kategorisierten Antworten*

Beim Vergleich des Wissenschaftsverständnisses unter Einbezug aller Skalenwerte lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Physikstudierenden und Nichtphysikern feststellen, wohingegen in den offenen Antworten der Physikstudierenden signifikant mehr angemessene Ansichten zu finden sind. Die folgenden beiden Antworten stammen von Teilnehmenden, deren Skalenwert zur Textur von Wissen in Physik ähnliche Werte aufweisen ( $M_{\text{Tln } 12} = 3.38$ ,  $M_{\text{Tln } 28} = 3.25$ ). Das heißt, beide Personen beurteilen Wissen in Physik auf Skalenebene bezüglich Objektivität, Exaktheit, Absolutheit oder Strukturiertheit ähnlich.

„Naturwissenschaft befasst sich mit der Beobachtung, Beschreibung der Natur und liefert Erklärungen für Naturphänomene.“ (Tln 28, mit Fach Physik)

„Naturwissenschaft beschäftigt sich mit Phänomenen aus der Natur und ist gegliedert in die Physik, Biologie und Chemie. Sie unterscheidet sich von den Geisteswissenschaften dahingehend, dass sie diese Phänomene meist experimentell belegen kann und das Ganze nicht nur auf irgendwelchen Theorien aufbaut.“

(Tln 12, ohne Fach Physik)

Obwohl der Skalenwert der epistemischen Urteile beider Studierenden nahe beieinander liegen, zeigt sich in den offenen Antworten ein deutlicher qualitativer Unterschied. So kurz und einfach die Antwort von Tln 28 ausfällt, enthält sie doch angemessene Ansichten zum Ziel und Zweck der Naturwissenschaften. Dagegen zeigt die Antwort von Tln 12, dass das aktivierte Wissen bzw. die aktivierten Ansichten des Verhältnisses zwischen Phänomen und Experiment und vor allem die Ansichten zu Theorien nicht angemessen sind. Die ähnlichen epistemischen Urteile gründen demnach auf ganz unterschiedlichen kognitiven Elementen.

Ein weiterer Vergleich der Antworten von Studierenden mit und ohne studiertem Fach Physik, die bezüglich der Textur von Wissen über die Struktur von Atomen ähnliche Urteile gebildet haben, zeigt exemplarisch, auf welchen unterschiedlichen jeweils zur Verfügung stehenden Ressourcen diese Urteile gründen können. Die folgenden Aussagen stammen von zwei Studierenden, die beide einen überdurchschnittlichen Skalenwerte bei den epistemischen Urteilen (Textur) aufweisen ( $M_{\text{Tln } 5} = 4.25$ ,  $M_{\text{Tln } 30} = 4.75$ ). Beide Studierende beurteilten demnach Wissen über die Struktur von Atomen demnach als beispielsweise eher ungenau, unbeweisbar oder diffus.

„Die Struktur von Atomen ist noch nicht genau ‚erforscht‘. Die Darstellungen in Schulbüchern ist eine Modellvorstellung, wie sie sein könnte. Ob dies so ist, ist noch nicht genau entdeckt und erforscht worden. Auf die zweite Frage kann ich leider nicht antworten.“ (Tln 5, ohne Fach Physik)

Die Aussage weist auf ein vages Verständnis des Modellcharakters von Atommodellen hin. Wie Physiker zu Atom-Modellen kommen, kann die Person jedoch nicht beschreiben.

Die folgende, umfangreiche Antwort von Tln 30 beinhaltet dagegen deutlich mehr Inhaltswissen darüber, wie Wissen über die Struktur von Atomen generiert wird, welche neuen Fragen sich aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen ergeben und dass dieses Wissen und die daraus abgeleiteten Modelle immer auf Schlussfolgerungen von indirekten Beobachtungen beruhen. Wegen des großen Gegensatzes zwischen den beiden Antworten von Tln 5 und Tln 30, die auf Skalenebene ähnliche Urteile bildeten, wird die Antwort in voller Länge wiedergegeben.

„Betrachtet man obiges Bild, so sind wir etwa auf dem Stand des beginnenden 20. Jahrhunderts und beschäftigen uns mit dem Bohrschen Atommodell. Mittlerweile ist bekannt, dass das Modell nur in sehr wenigen Fällen Atome korrekt beschreibt. Eigentlich stimmt das Modell nicht mal für Wasserstoff, denn mit einem Elektron auf einem Kreisradius wäre dieser eine flache Scheibe.

Vom Aufbau her wissen Physiker schon, dass der Atomkern aus Protonen und Neutronen besteht, wie diese ihrerseits aus Quarks aufgebaut sind, und dass irgendwo außen herum eben die Elektronen sein müssen. Aber schon bei den Elektronen kommen die Probleme: Wo sind die eigentlich genau? Über die Schrödingergleichung können wir zwar die Wahrscheinlichkeit des Aufenthaltsortes bestimmen, aber genaue Aussagen sind aufgrund der Unschärferelation ja nicht möglich. Und kommen wir zu großen Atomen und gar Molekülen, kann man nicht mal mehr die Wahrscheinlichkeiten berechnen, die Schrödingergleichungen sind mit unserer Rechenleistung nicht lösbar.

Im Prinzip ist alles Wissen über Atome nur indirekt bestimmbar/ableitbar, da wir einfach in Größenordnungen sind, die wir nicht betrachten können. Teilchenbeschleuniger lieferten uns die Hinweise auf die Quarks, sehen wird man sie nie.

Denkt man nun noch drüber nach, dass sich nicht nur das Licht, sondern auch Atome oder sogar Moleküle wie Fullerene wie Wellen verhalten können, könnte man auf die Idee kommen, die Physiker wissen eigentlich sehr wenig über Atome.“

(Tln 30, mit Fach Physik)

Die Antworten der offenen Items zeigen, dass gleiche bzw. ähnliche epistemische Urteile auf Basis von hoch unterschiedlichen, dem jeweiligen Individuum zur Verfügung stehenden kognitiven Elementen gebildet werden können.

#### *10.3.5.2 Vergleich der Skalenwerte zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt*

Zunächst wurde auf Ebene aller das Wissenschaftsverständnis betreffenden Skalen multivariat untersucht, ob sich die Intervention auf das Wissenschaftsverständnis global auswirkte. Dies erfolgte in Form einer einfaktoriellen MANCOVA mit Messwiederholung, um die Auswirkungen der Intervention auf das Wissenschaftsverständnis als Ganzes zu untersuchen und dabei eine Kumulierung des Alphafehlers zu vermeiden. Neben der unabhängigen Variable Zeit wurde als weiterer Faktor die Gruppenzugehörigkeit „Physiker/Nichtphysiker“ in die Analyse aufgenommen. Wie in der Darstellung der Zusammensetzung der Stichprobe auf Seite 193 gezeigt wurde, befanden sich in der Interventionsgruppe B (Veranstaltung des Medieninstituts) auch zwei Physikstudierende. Um einen möglichen Einfluss der Zugehörigkeit zu einer der beiden Interventionsgruppen auf eine etwaige Veränderung des Wissenschaftsverständnisses auszuschließen, wurde die Variable „Zugehörigkeit zur Interventionsgruppe“ als Störvariable kontrolliert, indem sie als Kovariate in die Analyse aufgenommen wurde.

Um die Voraussetzungen zur Durchführung einer MANCOVA zu prüfen, wurden vorab die Normalverteilung und die Varianzhomogenität der 13 abhängigen Variablen des ersten und zweiten Messzeitpunkts sowie die gruppenspezifische Homogenität der Varianz-Kovarianzmatrizen analysiert. Die Überprüfung der Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte, dass mit Ausnahme einer Variable (Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen, 2. MZP) alle Variablen die Voraussetzung der Normalverteilung erfüllten. Überprüfungen anhand von Levene-Tests ergaben, dass alle 13 Variablen des ersten und zweiten Messzeitpunkts Varianzhomogenität aufweisen. Der Box-M-Test auf Homogenität der gruppenspezifischen Varianz-Kovarianzmatrizen für alle das Wissenschaftsverständnis betreffenden Variablen konnte nicht berechnet werden, da weniger als zwei nichtsinguläre Zellen-Kovarianzmatrizen vorhanden waren. Die Auswirkungen der Intervention auf das Variablenbündel wurde jedoch trotzdem mit einer MANCOVA getestet, da für die Analyse multivariater Zusammenhänge bzw. Unterschiede keine eigenständigen verteilungsfreie Verfahren existieren (vgl. Bortz, Barskova, Leitner, Lienert & Oesterreich, 2008, S. 60). Diese methodische Einschränkung wurde hingenommen, um überhaupt eine Aussage der Wirksamkeit der Intervention auf das Wissenschaftsverständnis als Ganzes treffen zu können und um anschließend die Auswirkung der Intervention auf einzelne Bereiche in sich anschließenden Analysen kriteriengeleitet untersuchen zu können.

Bei der Berechnung der MANCOVA ergibt sich ein Interaktionseffekt zwischen Messzeitpunkt und dem Faktor Physiker/Nichtphysiker, Hotelling-Lawley Trace:  $T = 1.30$ ,  $F(13, 25) = 2.50$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .57$ . Ein statistischer Trend zeigt sich beim Messzeitpunkt, in der gesamten Stichprobe,  $T = 1.05$ ,  $F(13, 25) = 2.02$ ,  $p = .063$ . Die Kovariate (Zugehörigkeit zur Interventionsgruppe) ergab keinen Interaktionseffekt mit dem Faktor Zeit und es zeigte sich auch kein statistischer Trend,  $T = 0.91$ ,  $F(13, 25) = 1.75$ ,  $p = .11$ . Des Weiteren konnte kein Effekt bezüglich der unabhängigen Variable Gruppenzugehörigkeit (Physiker/Nichtphysiker) festgestellt werden,  $T = 0.59$ ,  $F(13, 25) = 1.13$ ,  $p = .38$ .

Die Intervention wirkte sich demnach in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit signifikant auf das Wissenschaftsverständnis aus. In der gesamten Stichprobe lässt sich ein statistischer Trend zur Veränderung erkennen. Die Zugehörigkeit zu einer der beiden Interventionsgruppen hatte keinen Einfluss auf die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses.

Sowohl der Interaktionseffekt zwischen Messzeitpunkt und Gruppenzugehörigkeit als auch der statistische Trend in der gesamten Stichprobe veranlasste die Durchführung von konstruktweisen Follow-up-Analysen der Skalenwerte zwischen Prä- und Posterhebung, um die für die Veränderungen maßgeblichen Konstrukte zu identifizieren, wie es Bortz und Schuster (2010) zur Erkundung von wechselseitigen Beziehungen der abhängigen Variablen untereinander und ihrer Bedeutung für Gruppenunterschiede vorschlagen (siehe weiter oben). Die Follow-up Analysen erfolgten sowohl in weiteren multivariaten als auch univariaten Verfahren. Da im Globaltest die Variable „Zugehörigkeit zur Interventionsgruppe“ keinen signifikanten Einfluss auf die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses zeigte, wurde sie für die weiteren Analysen nicht mehr als Kovariate aufgenommen.

#### *Mit CAEB erhobene epistemische Urteile*

Die im Fragebogen mit dem CAEB erhobenen epistemischen Urteile zur Textur/Struktur und Variabilität von Wissen in Physik bzw. über die Struktur von Atomen wurden mit einer einfaktoriellen (Physiker/Nichtphysiker) MANOVA mit Messwiederholung analysiert. Epistemische Urteile im Umgang mit einer Kontroversen wurden separat ermittelt. Tabelle 10.9 gibt die disziplinspezifischen epistemischen Urteile zum Wissen in Physik und die themenspezifischen Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen des ersten und zweiten Messzeitpunkts wieder.

**Tabelle 10.9:** Skalenwerte epistemischer Urteile (CAEB) des ersten und zweiten Messzeitpunkts, getrennt nach Gruppen

Skalen	Mittelwert Physiker		Mittelwert Nichtphysiker	
	MZP 1	MZP 2	MZP 1	MZP 2
eU Wissen Physik (T)	3.54 ( <i>SD</i> = 0.99)	3.86 ( <i>SD</i> = 0.99)	3.03 ( <i>SD</i> = 0.89)	3.35 ( <i>SD</i> = 0.94)
eU Wissen Physik (V)	4.65 ( <i>SD</i> = 0.86)	5.09 ( <i>SD</i> = 1.09)	4.39 ( <i>SD</i> = 0.94)	4.69 ( <i>SD</i> = 0.94)
eU Wissen Atome (T)	4.37 ( <i>SD</i> = 1.01)	4.22 ( <i>SD</i> = 0.85)	3.63 ( <i>SD</i> = 0.73)	3.50 ( <i>SD</i> = 0.86)
eU Wissen Atome (V)	5.21 ( <i>SD</i> = 0.92)	5.12 ( <i>SD</i> = 0.94)	4.59 ( <i>SD</i> = 1.14)	4.29 ( <i>SD</i> = 1.20)

**Anmerkungen:** eU = epistemische Urteile, T = Textur, V = Variabilität, MZP = Messzeitpunkt; Die Skalenwerte der Dimension Textur reichen von 1 (z.B. Wissen ist exakt und objektiv) bis 7 (z.B. Wissen ist diffus und subjektiv).

Die Voraussetzungen zur Durchführung einer MANOVA waren bezüglich Normalverteilung, Homogenität der gruppenspezifischen Varianz-Kovarianz-Matrizen und Varianzhomogenität gegeben.

Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Zeit,  $V = 0.27$ ,  $F(4, 36) = 2.95$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .25$ .

Die univariaten Vergleiche der Innersubjektfaktoren ergaben einen signifikanten Effekt bei den epistemischen Urteilen zur Textur von Wissen in Physik,  $F(1, 39) = 4.65$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .11$ , und

einen hochsignifikanten Effekt bezüglich der Variabilität von Wissen in Physik,  $F(1, 39) = 7.99$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .17$ . Die univariaten Vergleiche der epistemischen Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt wurden sowohl in der Dimension Textur,  $F(1, 39) = 1.11$ ,  $p = .30$ , als auch Variabilität,  $F(1, 39) = 1.90$ ,  $p = .18$ , nicht signifikant und wiesen auch keinen statistischen Trend auf.

Demzufolge lässt sich in der Beurteilung von Wissen in Physik in beiden Gruppen nach der Learning by Design-Phase eine Veränderung in die erwünschte Richtung erkennen. Physikalische Wissen wird nach der Intervention einerseits als weniger objektiv, exakt, eindeutig oder absolut (Dimension Textur) und andererseits als eher offen, widerlegbar, dynamisch, flexibel und unvollständig (Dimension Variabilität) beurteilt.

#### *Disziplinspezifische Annahmen zur Ontologie*

Für die Überprüfung etwaiger Auswirkungen der Intervention auf Annahmen zur Ontologie in Physik zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt wurden die CAEB-Skalen zu Annahmen über die Textur und Variabilität physikalischer Theorien und Gesetze multivariat verglichen. Tabelle 10.10 stellt die Skalenwerte der Annahmen zur Ontologie von physikalischen Gesetzen und Theorien der beiden Messzeitpunkte getrennt nach Gruppen dar.

**Tabelle 10.10:** Skalenwerte Annahmen zur Ontologie (CAEB) des ersten und zweiten Messzeitpunkts, getrennt nach Gruppen

Skalen	Mittelwert Physiker		Mittelwert Nichtphysiker	
	MZP 1	MZP 2	MZP 1	MZP 2
oA physik. Gesetze (T)	2.78 ( $SD = 0.80$ )	2.85 ( $SD = 0.93$ )	2.41 ( $SD = 0.86$ )	2.64 ( $SD = 0.86$ )
oA physik. Gesetze (V)	3.39 ( $SD = 1.24$ )	3.65 ( $SD = 1.34$ )	3.50 ( $SD = 0.85$ )	3.45 ( $SD = 1.12$ )
oA physik. Theorie (T)	4.16 ( $SD = 0.96$ )	4.33 ( $SD = 1.11$ )	3.60 ( $SD = 0.80$ )	3.59 ( $SD = 1.03$ )
oA physik. Theorie (V)	4.87 ( $SD = 0.74$ )	5.15 ( $SD = 0.85$ )	4.68 ( $SD = 0.99$ )	4.44 ( $SD = 1.10$ )

**Anmerkungen:** oA = Annahmen zur Ontologie, T = Textur, V = Variabilität, MZP = Messzeitpunkt

Die Berechnung einer MANOVA mit Messwiederholung und dem Faktor „Physiker/Nichtphysiker“ ergibt keinen Haupteffekt,  $V = 0.56$ ,  $F(4, 35) = 0.52$ ,  $p = .73$ . Ebenso ist kein Interaktionseffekt festzustellen,  $V = 0.14$ ,  $F(4, 35) = 1.44$ ,  $p = .24$ . Ein statistischer Trend ist ebenso nicht zu erkennen.

#### *Epistemische Urteile im Umgang mit einer Kontroversen*

Die Grundlage der Erhebung epistemischer Urteile im Umgang mit einer Kontroversen beziehen sich konzeptionell auf Bräten et al. (2009). Aufgrund der konzeptionellen Unterschiede zum Ansatz von Stahl und Bromme (2007) wurden die epistemischen Urteile des ersten und zweiten Messzeitpunkts, die im Umgang mit einer Kontroversen erhoben wurden, separat in einer einfaktoriellen MANOVA mit Messwiederholung verglichen. In Tabelle 10.11 sind die Skalenwerte des ersten und zweiten Messzeitpunkts getrennt nach Gruppen dargestellt.



**Tabelle 10.11:** Epistemische Urteile (TSEBQ) im Umgang mit einer Kontroversen, getrennt nach Gruppen

Skalen	Mittelwert Physiker		Mittelwert Nichtphysiker	
	MZP 1	MZP 2	MZP 1	MZP 2
eU Kontroverse (Sicherheit)	3.17 ( <i>SD</i> = 0.55)	3.36 ( <i>SD</i> = 0.42)	3.11 ( <i>SD</i> = 0.73)	3.08 ( <i>SD</i> = 0.58)
eU Kontroverse (Quelle)	2.80 ( <i>SD</i> = 0.76)	2.73 ( <i>SD</i> = 0.66)	2.52 ( <i>SD</i> = 0.65)	2.76 ( <i>SD</i> = 0.68)

**Anmerkungen:** eU = epistemische Urteile, MZP = Messzeitpunkt

Die einfaktorielle MANOVA mit Messwiederholung zeigte keinen signifikanten Haupteffekt des Faktors Zeit,  $F(2, 37) = 1.06$ ,  $p = .36$ . Ebenso zeigte sich kein Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Zeit und Gruppenzugehörigkeit (Physiker/Nichtphysiker),  $F(2, 37) = 2.43$ ,  $p = .10$ .

#### *Skalenwerte zu Ansichten der Nature of Science*

Die auf Grundlage des VOSE quantitativ erhobenen Ansichten der Pre- und Posterhebung zu unterschiedlichen Aspekten der Nature of Science wurden jeweils univariat in einfaktoriellen Varianzanalysen mit Messwiederholung verglichen. Die univariat analysierten Skalenwerte der Erst- und Zweiterhebung finden sich nach Gruppen getrennt dargestellt in Tabelle 10.12.

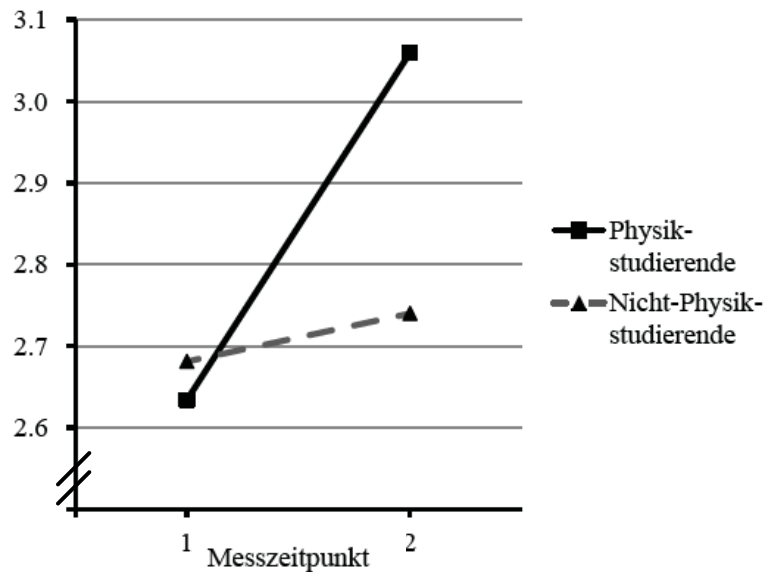
Bei der jeweiligen Durchführung von einfaktoriellen ANOVAs mit Messwiederholung zu den Skalen der Ansichten zur Rolle der Kreativität und zur Frage, ob Theorien entdeckt oder erfunden werden, zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Pre- und Posterhebung: Rolle der Kreativität: Messzeitpunkt,  $F(1, 38) = .10$ ,  $p = .76$ , Messzeitpunkt\*Gruppe (Physiker/Nichtphysiker):  $F(1, 38) = .03$ ,  $p = .87$ ; Theorien – entdeckt oder erfunden: Messzeitpunkt,  $F(1, 38) = 1.44$ ,  $p = .24$ , Messzeitpunkt\*Gruppe (Physiker/Nichtphysiker):  $F(1, 38) = .07$ ,  $p = .80$ .

**Tabelle 10.12:** Skalenwerte der quantitativ erhobenen Ansichten zu Nature of Science (nach VOSE)

Skalen	Mittelwert Physiker		Mittelwert Nichtphysiker	
	MZP 1	MZP 2	MZP 1	MZP 2
Rolle der Kreativität	3.43 ( <i>SD</i> = 0.45)	3.39 ( <i>SD</i> = 0.35)	3.39 ( <i>SD</i> = 0.33)	3.28 ( <i>SD</i> = 0.60)
soziokulturelle Einflüsse	2.64 ( <i>SD</i> = 0.69)	3.06 ( <i>SD</i> = 0.57)	2.68 ( <i>SD</i> = 0.70)	2.74 ( <i>SD</i> = 0.58)
Theorie: entdeckt - erfunden	2.81 ( <i>SD</i> = 0.68)	2.96 ( <i>SD</i> = 0.63)	2.17 ( <i>SD</i> = 0.57)	2.27 ( <i>SD</i> = 0.63)

**Anmerkungen:** MZP = Messzeitpunkt

Dagegen ergibt sich in einer ANOVA mit Messwiederholung und dem Faktor Gruppenzugehörigkeit ein Interaktionseffekt zwischen Messzeitpunkt und Gruppenzugehörigkeit,  $F(1, 38) = 4.77$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .11$ , sowie ein Haupteffekt des Faktors Zeit,  $F(1, 38) = 8.12$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .18$ . Abbildung 10.10 zeigt den zeitlichen Verlauf der Ansichten zu den soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften.



**Abbildung 10.10:** Interaktionseffekt der Veränderung der Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften

Die Studierenden mit dem Fach Physik verändern ihre Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften demnach signifikant stärker als diejenigen Studierenden, die nicht Physik als Fach studieren.

**Zusammenfassend** lässt sich aufgrund der Analyse der erhobenen Daten zwischen Pre- und Posterhebung auf Skalenebene eine Veränderung des Wissenschaftsverständnisses feststellen. Es sind dabei vor allem disziplinspezifische epistemische Urteile zur Textur/Struktur und besonders zur Variabilität von Wissen in Physik, die sich in der gesamten Stichprobe hin zu angemesseneren Urteilen veränderten, als auch Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften, die vor allem in der Gruppe der Physikstudierenden eine bedeutende Veränderung aufwies.

#### 10.3.5.3 Das Wissenschaftsverständnis nach der Intervention

Im Folgenden werden die Ergebnisse von Analysen des Wissenschaftsverständnisses dargestellt, die vor allem mit Daten des zweiten Messzeitpunkts durchgeführt wurden. Eingangs wurde das Wissenschaftsverständnis auf Skalenebene wie in Kapitel 10.3.5.1 zwischen den Gruppen verglichen. Anschließend wurden die Differenzen der Skalenwerte zwischen zweitem und erstem Messzeitpunkt ermittelt und Korrelationsanalysen zwischen den Differenzen durchgeführt, um zu untersuchen, welche Veränderungen auf Skalenebene Zusammenhänge aufweisen. Ebenso wurde inferenzstatistisch untersucht, welche Veränderungen sich im Verhältnis der Summenscores angemessener und unangemessener Ansichten in den offenen Antworten zwischen den Physikstudierenden und Nichtphysikern ergaben. Des Weiteren wurde untersucht, ob Zusammenhänge zwischen der inhaltlichen Bezugnahme zu Inhalten der Intervention in den offenen Items der Post-Erhebung und Veränderungen der Skalenwerte bestehen.

### *Vergleich des Wissenschaftsverständnisses auf Skalenebene zwischen Physikern und Nichtphysikern*

Mit den Skalenwerten des zweiten Messzeitpunkts wurde eine einfaktorielle MANOVA mit dem Faktor „Physiker/Nichtphysiker“ durchgeführt. Bis auf eine Variable erfüllten alle die Voraussetzung der Normalverteilung. Alle Variablen erfüllten das Kriterium der Varianzhomogenität.

Wie zu erwarten war, zeigte sich über alle Skalen hinweg kein signifikanter Unterschied im Wissenschaftsverständnis zwischen Studierenden mit und ohne Physik als Fach, Hotelling-Lawley Trace:  $T = 0.51$ ,  $F(13, 27) = 1.06$ ,  $p = .43$ .

### *Korrelationen der Prä/Post-Differenzen der Skalenwerte*

Um zu untersuchen, ob es Veränderungen von Skalenwerten gibt, die zusammenhängen, wurden die Differenzen der Skalenwerte zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt gebildet und mit diesen Differenzen eine Korrelationsanalyse durchgeführt. In Tabelle 10.13 sind die Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Minima und Maxima der Differenzen aufgeführt.

**Tabelle 10.13:** Prä/Post-Differenzen

Skalen		Kennwerte der Differenzen			
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
Epistemische Urteile „Wissen in Physik“	Textur	0.32	0.93	-1.38	3.13
	Variabilität	0.37	0.83	-1.50	2.33
Epistemische Urteile „Wissen über Struktur von Atomen“	Textur	-0.14	0.82	-2.63	1.75
	Variabilität	-0.18	0.88	-2.60	1.80
Annahmen zur Ontologie von Gesetzen	Textur	0.12	0.66	-0.88	1.75
	Variabilität	0.09	1.08	-2.40	2.80
Annahmen zur Ontologie von Theorien	Textur	0.10	0.84	-1.88	1.88
	Variabilität	0.04	0.94	-3.40	1.40
epistemische Urteile im Umgang mit Kontroversen	Sicherheit	0.07	0.53	-1.00	1.33
	Quelle	0.09	0.55	-1.50	1.50
Kreativität & Vorstellungskraft		-0.03	0.47	-0.60	1.80
Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen		0.26	0.55	-0.50	1.50
Theorien entdeckt oder erfunden?		0.13	0.66	-1.00	2.40

Bei Durchführung einer Korrelationsanalyse der Prä/Post-Differenzen zeigen sich verschiedene Zusammenhänge. Wie zu erwarten war, bestehen zum Teil starke Korrelationen zwischen den Veränderungen der Dimensionen Textur und Variabilität verschiedener mit dem CAEB erhobener epistemischer Urteile. Dies kann damit erklärt werden, dass die beiden Dimensionen nicht vollständig unabhängig voneinander sind (vgl. Stahl & Bromme, 2007, S. 783). So korrelieren die Dimensionen Textur und Variabilität bei disziplinspezifischen epistemischen Urteilen zu Wissen in Physik ( $p < .000$ ,  $r = .66$ ) sowie zu Wissen über die Struktur von Atomen ( $p < .000$ ,  $r = .64$ ) stark positiv miteinander. Das heißt, dass sowohl disziplinspezifische als auch themenspezifische Veränderungen der epistemischen Urteile bezüglich Subjektivität, Struktur oder Genauigkeit mit Veränderung von epistemischen Urteilen bezüglich der Veränderlichkeit zusammenhängen. Gleiches gilt für die Annahmen zur Ontologie von Theorien und Gesetzen,

wobei hier die Zusammenhänge nicht ganz so stark sind. So korrelieren die Prä/Post-Differenzen der Dimensionen Textur und Variabilität der Annahmen zur Ontologie von physikalischen Gesetzen ( $p < .05$ ,  $r = .33$ ) sowie die Annahmen zur Ontologie von physikalischen Theorien ( $p < .05$ ,  $r = .39$ ) jeweils auf mittlerem Niveau.

Neben den Korrelationen zwischen den Dimensionen epistemischer Urteile bzw. Annahmen zur Ontologie zeigen sich auch Zusammenhänge zwischen Teilaspekten des Wissenschaftsverständnisses. So hängen Veränderungen disziplinspezifischer epistemischer Urteile der Dimension Textur zu Wissen in Physik zusammen mit Veränderungen themenspezifischer epistemischer Urteile der Dimension Textur zu Wissen über die Struktur von Atomen ( $p < .05$ ,  $r = .36$ ). Ebenso ist eine Korrelation auf mittlerem Niveau der Prä/Post-Differenzen der Annahmen zur Ontologie (Textur) mit epistemischen Urteilen zu Wissen über Atome (Textur) festzustellen ( $p < .05$ ,  $r = .34$ ).

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der MANOVA mit Messwiederholung aus Kapitel 10.3.5.2 korreliert die Gruppenzugehörigkeit „Physiker/Nichtphysiker“ mit den Prä/Post-Differenzen der Skala zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften mit mittlerer Effektstärke ( $p < .05$ ,  $r = .33$ ).

Um Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der Intervention tätigen zu können, wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der Veränderung des Wissenschaftsverständnisses und der Bezugnahme zu Inhalten der Interventionsphase in den offenen Items des zweiten Messzeitpunkts gab, also ob die Studierenden bei der Darlegung ihrer NOS-Ansichten im zweiten Messzeitpunkt auf Inhalte der Interventionsphase, die sie im Medienprodukt bearbeitet haben, zurückgriffen. Dafür wurde in einer weiteren Korrelationsanalyse untersucht, ob Zusammenhänge zwischen der Bezugnahme zu Inhalten der Intervention in den offenen Items des zweiten Messzeitpunkts und den Prä/Post-Differenzen existieren. Wie weiter oben unter Kapitel 10.3.4 (S. 220-222) dargelegt, teilt sich die gesamte Stichprobe in eine Gruppe von Studierenden ( $N = 19$ ), die mindestens in einem der offenen Items Bezüge zu den Inhalten der Intervention herstellte, sowie eine Gruppe von Studierenden ( $N = 22$ ), die in den offenen Items keinerlei Bezüge zu von ihnen bearbeiteten Inhalten der Interventionsphase herstellten. In einer punktbiserialen Korrelationsanalyse, in der die Gruppenzugehörigkeit „inhaltlicher Bezug/ kein Bezug zur Intervention“ mit allen Skalen zum Wissenschaftsverständnis verglichen wurde, zeigten sich insgesamt zwei Korrelationen mit mittlerem bzw. großem Effekt. Beide festgestellten Korrelationen beziehen sich auf die Veränderungen bei den epistemischen Urteilen bezüglich Wissen in Physik. Die mittlere Korrelation ist in der Dimension Textur festzustellen ( $p < .01$ ,  $r = .41$ ), die hohe Korrelation in der Dimension Variabilität ( $p < .000$ ,  $r = .62$ ).

Aufgrund der festgestellten Korrelationen und der nahezu gleichen Gruppengröße wurde eine weitere einfaktorielle (mit/ohne inhaltlichem Bezug) MANOVA mit allen Prä/Post-Differenzen durchgeführt, um die Bedeutsamkeit des festgestellten Zusammenhangs zwischen dem Ausmaß

der Veränderung auf Skalenebene und der inhaltlichen Bezugnahme zu Inhalten der Interventionsphase in den offenen Items des zweiten Messzeitpunkts zu untersuchen. Die Normalverteilungen der Prä/Post-Differenzen und deren Varianzhomogenität waren gegeben und somit die Voraussetzungen zur Durchführung der MANOVA erfüllt.

Die multivariate Analyse aller Prä/Post-Differenzen zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen derjenigen Gruppe von Studierenden, die in offenen Items des zweiten Messzeitpunkts Bezug zu Inhalten der Intervention nahmen und denjenigen, die keinen Bezug herstellten, Hotelling-Lawley Trace:  $T = 1.29$ ,  $F(13, 26) = 2.50$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .56$ ). Die anschließend vorgenommene univariate Analyse ergab, dass die Prä/Post-Differenzen der epistemischen Urteile zu Wissen in Physik ausschlaggebend für die Unterschiede der beiden Gruppen sind. In Tabelle 10.14 finden sich die Differenzen der beiden Skalen nach Gruppen aufgeteilt.

**Tabelle 10.14:** Prä/Post-Differenzen nach Gruppen (mit/ohne inhaltlichem Bezug zur Intervention)

	Mittelwerte Prä/Post-Differenzen	
	inhaltlicher Bezug zur Intervention	keinerlei inhaltliche Bezüge zur Intervention
epistemische Urteile zu Wissen in Physik (Textur)	.72 ( $SD = 0.94$ )	.01 ( $SD = 0.77$ )
epistemische Urteile zu Wissen in Physik (Variabilität)	.92 ( $SD = 0.67$ )	-.11 ( $SD = 0.65$ )

Diejenigen, die in der Beantwortung der Fragen der offenen Items Bezüge zu den Inhalten der Intervention herstellten, veränderten ihre epistemischen Urteile zum Wissen in Physik auf Skalenebene (Textur) so, dass sie Wissen in Physik beispielsweise als weniger geordnet, weniger absolut, weniger beweisbar oder weniger objektiv ansahen,  $F(1, 38) = 7.02$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .16$ . Noch deutlicher veränderten sich die epistemischen Urteile dahingehend, als dass sie im Vergleich zum ersten Messzeitpunkt Wissen in Physik nach der Intervention als offener, widerlegbarer, dynamischer, flexibler und unvollständiger beurteilten (Variabilität),  $F(1, 38) = 24.34$ ,  $p < .000$ ,  $\eta^2 = .39$ .

Die größten Veränderungen in den disziplinspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen in Physik waren demnach bei denjenigen Studierenden zu verzeichnen, die in den offenen Antworten Bezüge zu den Inhalten der Learning by Design-Phase herstellten, unabhängig davon, ob die Studierenden Physik als Fach hatten oder nicht. Dieser systematische Zusammenhang kann als Hinweis für die Wirksamkeit der Intervention auf das Wissenschaftsverständnis gewertet werden. Nachfolgend werden Äußerungen offener Antworten aus erstem und zweiten Messzeitpunkt verglichen, bei denen im zweiten Messzeitpunkt Bezug zu Inhalten der Interventionsphase genommen wurde.

#### *Vergleich von Ansichten aus offenen Items zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt*

Wie in den vorangegangenen Ausführungen aufgezeigt, besteht ein Zusammenhang zwischen den Veränderungen der disziplinspezifischen epistemischen Urteile bezüglich Wissen in Physik auf Skalenebene und der Herstellung von Bezügen zu Inhalten der Intervention in den offenen

Antwortformaten. Dies wird zum einen nachfolgend anhand von Beispielen illustriert. Zum anderen werden danach Vergleiche von Aussagen aus Prä- und Posterhebung aus der Gruppe der Physikstudierenden gegenübergestellt, die Hinweise auf die Veränderungen der Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften geben, da sich inferenzstatistisch signifikante Veränderungen in der Gruppe der Physikstudierenden zwischen erstem und zweiten Messzeitpunkt bezüglich der Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften zeigten. Die Physikstudierenden haben demnach am stärksten in diesem Bereich von der Intervention profitiert (siehe Kapitel 10.3.5.2, Seite 230-231). Ebenso werden weitere Äußerungen von Studierenden verglichen, die Hinweise auf Veränderungen der Ansichten geben. Als Erstes folgt jedoch der inferenzstatistische Vergleich der Anzahlen angemessener und unangemessener Ansichten zwischen der Gruppe der Physiker und Nichtphysiker im zweiten Messzeitpunkt.

Die in Kapitel 10.3.5.1 dargestellte Analyse der gruppenspezifischen Unterschiede in der Anzahl angemessener und unangemessener Ansichten in den offenen Items des ersten Messzeitpunkts ergab, dass die Physikstudierenden signifikant mehr angemessene Ansichten äußerten. Da ein inferenzstatistischer Vergleich zwischen den Messzeitpunkten aus genannten Gründen nicht sinnvoll erschien (vgl. Kapitel 10.3.4), wurde mit den Daten des zweiten Messzeitpunkts inferenzstatistisch überprüft, ob sich im Verhältnis zwischen den Gruppen (Physiker/Nichtphysiker) eine Veränderung ergab. Dafür wurden die Summenscores angemessener und unangemessener Ansichten über alle Kategorien hinweg mit zwei Mann-Whitney U-Tests verglichen und dabei das Alphaniveau auf  $p = .025$  angepasst. Sowohl bei den unangemessenen als auch bei den angemessenen Ansichten zeigten sich im zweiten Messzeitpunkt keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Gruppen. Ein statistischer Trend war noch zu erkennen. Bei den unangemessenen Ansichten zeigt sich der statistische Trend, dass die Nichtphysiker ( $Mdn = 4$ ) etwas mehr unangemessene Ansichten als die Physiker ( $Mdn = 2.5$ ) zeigten,  $U = 138.00$ ,  $z = -1.89$ ,  $p = .06$ . Bei den angemessenen Ansichten ergab sich der statistische Trend, dass die Physikstudierenden ( $Mdn = 5$ ) im Vergleich zu den Nichtphysikern ( $Mdn = 3$ ) im zweiten Messzeitpunkt nach wie vor etwas mehr angemessene Ansichten zeigten,  $U = 137.50$ ,  $z = -1.89$ ,  $p = .06$ . Der Vergleich mit den Ergebnissen der nichtparametrischen Tests des ersten Messzeitpunkts lässt erkennen, dass im zweiten Messzeitpunkt die Anzahl der geäußerten angemessenen Ansichten zwischen Nichtphysikern und Physikern nicht mehr ganz so groß ausfällt, wie im ersten Messzeitpunkt. Die Nichtphysiker konnten demnach nach der Intervention ein Stück weit zu den Physikstudierenden aufschließen. Dies kann damit erklärt werden, dass einige Nichtphysiker nach der Interventionsphase im Vergleich zum ersten Messzeitpunkt über Inhaltswissen verfügten und dieses nutzen konnten, um ihre Ansichten darzulegen. Vermutlich nutzten Nichtphysiker im zweiten Messzeitpunkt dieses neue Inhaltswissen, über das sie im ersten Messzeitpunkt noch nicht verfügten, was nachfolgend anhand der exemplarischen Gegenüberstellung von Äußerungen deutlich wird.

Ein Beispiel dafür sind die Äußerungen eines Nichtphysikers, die schon weiter oben vorgestellt wurden. Im zweiten Messzeitpunkt wurde im Hinblick auf die Vorläufigkeit von Theorien ein Bezug zum Inhalt der Intervention hergestellt (siehe Seite 221). Die epistemischen Urteile dieser/dieses Studierenden zu Wissen in Physik weist eine Prä/Post Differenz von 0.67 in der Dimension Textur und 0.75 in der Dimension Variabilität auf. Weitere Äußerungen des ersten und zweiten Messzeitpunkts von Personen, deren Prä/Post-Differenzen der epistemischen Urteile zu Wissen in Physik positive Werte aufweisen, finden sich in Tabelle 10.15 gegenübergestellt.

Beim Vergleich der verschiedenen Aussagen wird deutlich, dass auch hier das Niveau der Ausführungen unterschiedlich ist. Gemeinsam ist allen Ausführungen des zweiten Messzeitpunkts jedoch der inhaltliche Bezug zur Intervention. Die Beispiele von Tln 23 und 16, die beide der Gruppe der Nichtphysiker angehören, zeigen, dass sie im ersten Messzeitpunkt nicht in der Lage waren, eine Begründung bzw. Beispiele zur Vorläufigkeit und Veränderlichkeit von Theorien darzulegen, wohingegen sie im zweiten Messzeitpunkt durch die Intervention über passendes Inhaltswissen verfügen, um damit ihren Standpunkt zu begründen.

**Tabelle 10.15:** Gegenüberstellungen von Äußerungen der beiden Messzeitpunkte mit Bezügen zur Intervention im zweiten Messzeitpunkt

Tln	Gruppe	Prä/Post-Diff. epist. U. Wissen in Physik		Antworten im Wortlaut
		Textur	Variab.	
13	NP	0.25	0.83	MZP 1: In manchen Bereichen ist die Theorie (wie beispielsweise in Mathe das 1*1) abgeschlossen, aber sicher gibt es noch Felder in denen geforscht wird und veraltete Theorien widerlegt werden können.
				MZP 2: Huygens hatte ja über die Wellentheorie eine ganz andere Vorstellung wie Newton. Erst Einstein konnte beide Vorstellungen miteinander vereinbaren.
23	P	1.13	1.33	MZP 1: Erfunden, denn eine Theorie ist eine Interpretation experimenteller Fakten und experimentelle Fakten werden durch Wissenschaftler entdeckt. <sup>13</sup>
				MZP 2: Sonst würde es nicht so Probleme beim Thema Licht gegeben haben (Huygens, Newton, Einstein), wenn einer das richtige entdeckt hat.
14	NP	1.00	0.33	MZP 1: Wenn die Technik sich ändert, dann steigen auch die Ansprüche an die Theorie. Oder sie lässt sich jetzt mit der neuen Technik besser beweisen oder eben widerlegen.
				MZP 2: Wenn jemand beweisen würde, dass Einsteins Theorie falsch ist oder unvollständig, dann kann man diese Theorie verändern. Dies war zum Beispiel auch bei Huygens und Newton der Fall.
16	NP	1.25	0.67	MZP 1: (keine Antwort)
				MZP 2: Theorien können sich auf jeden Fall verändern. Denn Theorien entstehen immer im Zusammenhang der persönlichen Biographie des

<sup>13</sup> Bei der Antwort handelt es sich um eine wortwörtlich abgeschriebene Formulierung eines geschlossenen Items.

Physikers, dem geschichtlichen Zusammenhang, dem Umfeld und dem technischen Fortschritt. Z. B. die Wellentheorie und die Teilchentheorie des Lichts haben sich aus den Erfahrungen von Huygens und Newton entwickelt. Newton z. B. war bekannter und seine Theorie setzte sich auch aus diesem Grund zunächst durch. Viele Jahre später entdeckte Einstein (auch weitere technische Möglichkeiten), dass beide Theorien stimmten.

---

**Anmerkung:** P = Physiker, NP = Nichtphysiker

Die in Tabelle 10.15 dargestellten Äußerungen des zweiten Messzeitpunkts beziehen sich alle entweder auf die Frage, ob Theorien erfunden oder entdeckt werden oder haben mit der Vorläufigkeit bzw. Veränderlichkeit von Theorien und somit auch von Wissen in Physik im Allgemeinen zu tun. Dadurch kann der statistische Zusammenhang der Prä/Post-Differenzen und der Zugehörigkeit zur Gruppe mit den Bezügen zur Intervention erklärt werden.

Nachfolgend sind zwei Äußerungen im Zusammenhang mit der Kategorie „Vorstellungskraft und Kreativität“ vorgestellt, bei denen im zweiten Messzeitpunkt ein Bezug zum Inhalt der Intervention hergestellt wurde. Die beiden Äußerungen stammen von einer/einem Physiker/in (Tln 37), der/die im ersten Messzeitpunkt im offenen Item zur Frage nach der Wichtigkeit von Kreativität und Vorstellungskraft in der Physik folgendermaßen antwortet:

„Hypothesen müssen zunächst mal in einem kreativen Akt generiert werden, bevor sie geprüft werden können.“ (Tln 37, MZP 1)

Im zweiten Messzeitpunkt antwortete die selbe Person:

„Warum sollte man Licht auf einen Wellencharakter untersuchen? Wo es doch gar nicht wie eine Welle aussieht. Es muss hier eine gewisse Kreativität im Spiel gewesen sein, das Modell des Huygenschen Prinzips zu formulieren.“ (Tln 37, MZP 2)

Die Argumentation verändert sich dahingehend, als dass im ersten Messzeitpunkt Kreativität in Zusammenhang mit der Hypothesenbildung und im zweiten Messzeitpunkt mit dem Modellbildungsprozess gesehen wird.

In den folgenden umfangreicheren Ausführungen eines Physikers (Tln 30) zeigt sich im zweiten Messzeitpunkt auch eine argumentative Zuspitzung auf die in der Learning by Design-Phase bearbeiteten Inhalte. Zuerst die Antwort der Prä-Erhebung:

„Ohne Kreativität wären viele Entdeckungen moderner Physik nicht gemacht worden. Es gibt einfach zu viele Dinge, die sich unseren direkten Beobachtungsmöglichkeiten entziehen. Klar leiten sich viele spätere Entdeckungen aus mathematischen Zwangsläufigkeiten ab, aber man muss erst mal kreativ genug sein, diese zu ersinnen und dann zu suchen.“ (Tln 30, MZP 1)

In der Zweiterhebung lässt sich neben der Argumentation mit den Inhalten der Intervention auch eine Bezugnahme zur Theoriegebundenheit von Forschung erkennen:

„Um etwas letztendlich mit der Physik und/oder mathematischen Formeln zu beschreiben, muss man ein erkanntes Phänomen ja in eine Form packen. Da es die Form vorher



nicht gab, ist diese immer von Vorstellungskraft und/oder Kreativität abhängig. Nehmen wir einfach nun unser Beispiel: Was ist Licht? Wir sehen die Lösung ja nicht einfach vor uns. Wir nehmen Theorien an, etwa: es ist ein Teilchen. Oder es ist eine Welle. Dieser Vorgang im startenden Forschungsprozess ist definitiv von Kreativität und Vorstellungskraft nicht trennbar.“ (Tln 30, MZP 2)

Ein/e Nichtphysiker/in, die/der bei der ersten Erhebung keine Antwort zur Frage der Veränderlichkeit von Theorien gab, stellte im zweiten Messzeitpunkt in den Ausführungen einen Zusammenhang zwischen dem Interventionsinhalt, der Vorläufigkeit von Theorien und Ansichten zu soziokulturellen Aspekten her.

„Theorien können sich auf jeden Fall verändern. Denn Theorien entstehen immer im Zusammenhang der persönlichen Biographie des Physikers, dem geschichtlichen Zusammenhang, dem Umfeld und dem technischen Fortschritt. Z. B. die Wellentheorie und die Teilchentheorie des Lichts haben sich aus den Erfahrungen von Huygens und Newton entwickelt. Newton z. B. - war bekannter und seine Theorie setzte sich auch aus diesem Grund zunächst durch. Viele Jahre später entdeckte Einstein (auch weitere technische Möglichkeiten), dass beide Theorien stimmten.“ (Tln 16, MZP 2)

Auch wenn der letzte Satz der Aussage eine unangemessene Vereinfachung Einsteins Erkenntnissen zur Natur des Lichts darstellt, wird deutlich, dass aufgrund der inhaltlichen Auseinandersetzung in der Learning by Design-Phase die Rolle der Autorität Newtons in der Scientific Community für den vorläufigen Erfolg der Korpuskel-Theorie als bedeutsam angesehen wird.

Die Untersuchung der Gruppenunterschiede zwischen Physikern und Nichtphysikern in Kapitel 10.3.5.2 ergab, dass die Physiker auf Skalenebene am stärksten bei den Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen von der Intervention profitierten. Im Vergleich dazu sind in den offenen Antworten zu diesem Aspekt bei den Physikstudierenden nur geringere Veränderungen zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt zu erkennen. Tabelle 10.16 führt einige exemplarische Antworten von Physikstudierenden zu soziokulturellen Einflüssen auf, die auf Skalenebene eine positive Veränderung ihrer Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften aufweisen.

Bei allen Antworten von Physikstudierenden zu diesem NOS-Aspekt fällt auf, dass keinerlei direkter inhaltlicher Bezug zur Intervention hergestellt wird. Zudem ist zu erkennen, dass die Physikstudierenden auch vor der Intervention meist die Ansicht vertraten, soziokulturelle Aspekte würden die Naturwissenschaften beeinflussen. Lediglich eine Person mit dem Fach Physik gab in der Ersterhebung an, Forscher in der Physik würden sich nicht von kulturellen Werten und Vorstellungen beeinflussen lassen, um dann in der Zweiterhebung eine andere Ansicht zu vertreten<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> Dieses Beispiel wurde schon weiter oben in Tabelle 10.8 auf Seite 177 angeführt.

Auch wenn bei den meisten Physikstudierenden die Unterschiede im offenen Antwortformat zwischen Prä- und Posterhebung geringer erscheinen als auf Skalenebene, lassen sich doch Veränderungen in der Qualität der Aussagen erkennen. Die in Tabelle 10.16 aufgeführten Beispiele geben einen Einblick in diese Veränderungen.

**Tabelle 10.16:** Vergleich von Antworten offener Items zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften (Kategorie „Subjektivität/Theoriegebundenheit“)

	<i>Prä/ Post- Diff.</i>	MZP	wörtliche Wiedergabe der Antworten
Tln 27	0.75	1	Weil die Naturwissenschaftler mehr Geld für Forschung bekommen, die die Gesellschaft interessiert. Und indirekt (!) auch mehr, wenn sie das rausfinden, was die Gesellschaft möchte.
		2	Theoretisch sollte der Forscher objektiv sein, aber man ist dann doch sehr für seine Theorie. Zum Teil kann man Experimente unterschiedlich bewerten und dann geht es eher in die Richtung seiner Theorie.
Tln 4	1	1	Der politische Druck für die USA, auf den Mond zu gelangen, trieb die hiesige Wissenschaft enorm voran. Ebenfalls die Atomphysik bis hin zu Atomkraftwerken – dass erneuerbare Energien noch nicht voll und ganz auf dem Vormarsch sind, verdanken wir wohl dem finanziellen Einfluss diverser Firmen und Länder, welche sich an der Atomenergie eine guten (besseren) Gewinn ermöglichen, als mit dem derzeitigen Stand erneuerbarer Energien.
		2	Die Naturwissenschaft selbst beschäftigt sich zwar nur mit Kausalzusammenhängen, aber diejenigen, die sich damit auseinander setzen, sind Menschen, und die sind immer durch ein soziales Umfeld beeinflusst. Das zeigt sich in manchen Dingen mehr, als in anderen.
Tln 35	0.50	1	Religiöse Einsichten haben seit jeher die Naturwissenschaften beeinflusst. Ich bin zwar davon überzeugt, dass diese Einflüsse heutzutage deutlich abgenommen haben, jedoch wohl nie ganz außer Acht gelassen werden dürfen.
		2	Das soziale Umfeld beeinflusst seit jeher die Entwicklung des Menschen. Egal in welchem Handeln, so auch in der Naturwissenschaft.

**Anmerkung:** Die Spalte Prä/Post-Differenz bezieht sich auf Werte der Skala „Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften“

In der Aussage der Ersterhebung von Tln 27 findet sich die Ansicht, Forschung werde durch Geld beeinflusst, wohingegen im zweiten Messzeitpunkt mit der Theoriegeladenheit der Herangehensweise von Forschern argumentiert wird.

Ebenso vertritt Tln 4 im ersten Messzeitpunkt die Ansicht, finanzielle Mittel beeinflussen die Richtung der Forschung, um danach in der Zweiterhebung seine Ansicht eher mit dem sozialen Umfeld eines Forschers zu begründen. Ähnliches gilt für Tln 35, nur dass im ersten Messzeitpunkt statt mit dem Einfluss von Geld mit religiösen Einsichten argumentiert wird. Bei allen hier besprochenen Beispielen lässt sich erkennen, dass im ersten Messzeitpunkt der Einfluss des Gelds bzw. der Religion auf die Naturwissenschaft als Ganzes dargestellt wird, dagegen im zweiten Messzeitpunkt eher der einzelne Forscher in seinem sozialen Umfeld angeführt wird. Auch wenn die Physikstudierenden keinen expliziten Bezug zum Inhalt der Intervention herstellten, könnte die veränderte Darlegung der Ansichten, weg vom großen Ganzen und hin zum

einzelnen Forscher in seinem Umfeld, ein Hinweis des Einflusses der Intervention sein, da im Prozess der Mediengestaltung nicht nur eine Auseinandersetzung mit Theorien der einzelnen Forscher, sondern auch mit ihren Persönlichkeiten und ihren Biographien erfolgte.

### 10.3.6 Einschätzungen der Studierenden zu Learning by Design

Mit den adaptierten Items des Fragebogens von Paechter et al. (2007) wurden nach der Intervention die Einschätzungen der Studierenden zum Kompetenzerwerb durch Learning by Design erhoben. Die Einschätzungen bezogen sich dabei einerseits auf den Erwerb von Mediennutzungskompetenzen und andererseits auf den Erwerb von Kompetenzen in der Wissensdomäne. Dabei ist es wichtig zu erwähnen, dass sich genauso wie im Original von Paechter et al. die Formulierungen der Items zum Erwerb von Mediennutzungskompetenzen auf den eigenen Kompetenzerwerb beziehen. Dagegen sind die Formulierungen der Items zur Einschätzung des Kompetenzerwerbs in der Wissensdomäne allgemein formuliert und können so als Einschätzung der Studierenden zum didaktischen Konzept von Learning by Design, unabhängig von ihrem eigenen Lernzuwachs, gewertet werden.

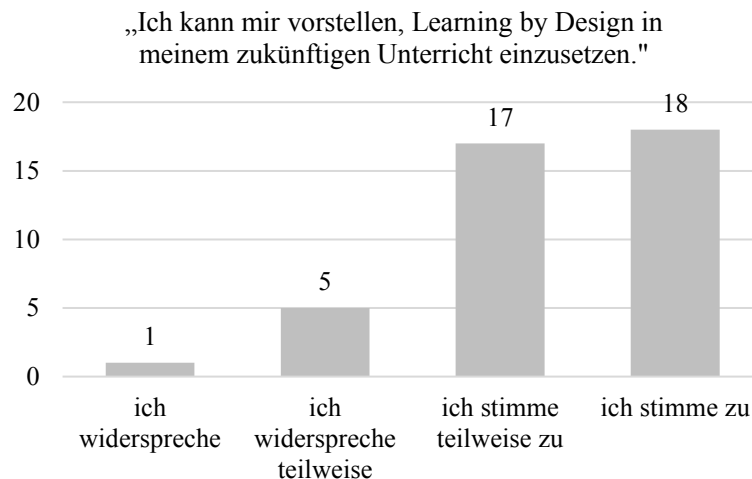
In Kapitel 10.3.2.2 sind in Abbildung 10.7 die Verteilungen der Skalenwerte nach Gruppen (Physiker/Nichtphysiker) dargestellt. Es wird deutlich, dass die hohe Streuung der Einschätzungen zum Erwerb von Mediennutzungskompetenzen aufgrund der Unterschiede zwischen den Gruppen herrührt. Eine einfaktorielle MANOVA, bei der die Skalenwerte beider Kompetenzbereiche als abhängige Variablen fungierten, ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Einschätzungen der Physiker und Nichtphysiker, Hotelling-Lawley Trace:  $T = 0.50$ ,  $F(2, 38) = 9.52$ ,  $p < .000$ ,  $\eta^2 = .33$ . Die sich anschließende univariate Analyse zeigte, dass sich der hochsignifikante Unterschied in der MANOVA aufgrund der hochsignifikant unterschiedlichen Einschätzungen bezüglich des Kompetenzerwerbs im Bereich Mediennutzung ergibt. Die Physikstudierenden ( $M = 2.47$ ,  $SD = 0.86$ ) schätzten demnach den eigenen Erwerb von Fähigkeiten und Wissen bezüglich des Umgangs mit PC, neuer/digitaler Medien, dem Internet sowie virtueller Teamarbeit als deutlich geringer ein als die Nichtphysiker ( $M = 3.49$ ,  $SD = 0.51$ ),  $F(1, 39) = 18.47$ ,  $p < .000$ ,  $\eta^2 = .32$ . Dieser Unterschied zwischen den Gruppen kann damit erklärt werden, dass die Physikstudierenden technikaffiner sind und schon vor der Intervention über mehr Mediennutzungskompetenzen verfügten. Die Nichtphysiker dagegen haben sich bewusst für die Teilnahme an der Hochschulveranstaltung, in der die Intervention durchgeführt wurde, entschieden, um ihre Kompetenzen im Umgang mit neuen Medien auszubauen.

Es ist andererseits festzustellen, dass sich die Einschätzungen bezüglich des Kompetenzerwerbs in der Wissensdomäne durch Learning by Design zwischen den Physikstudierenden ( $M = 3.04$ ,  $SD = 0.40$ ) und den Nichtphysikern ( $M = 3.28$ ,  $SD = 0.42$ ) nicht signifikant unterscheiden. Beide Gruppen schätzen das didaktische Konzept „Learning by Design“ bezüglich verschiedener lernförderlicher Aspekte, wie z. B. angemessene Behandlung des Lernstoffs, Unterstützung individueller Lernprozesse oder Förderung vernetzten Denkens, ähnlich positiv ein,

$F(1, 39) = 3.47, p = .07$ . Tendenziell neigen die Nichtphysiker dazu, Learning by Design für den Kompetenzerwerb in der Wissensdomäne etwas besser einzuschätzen.

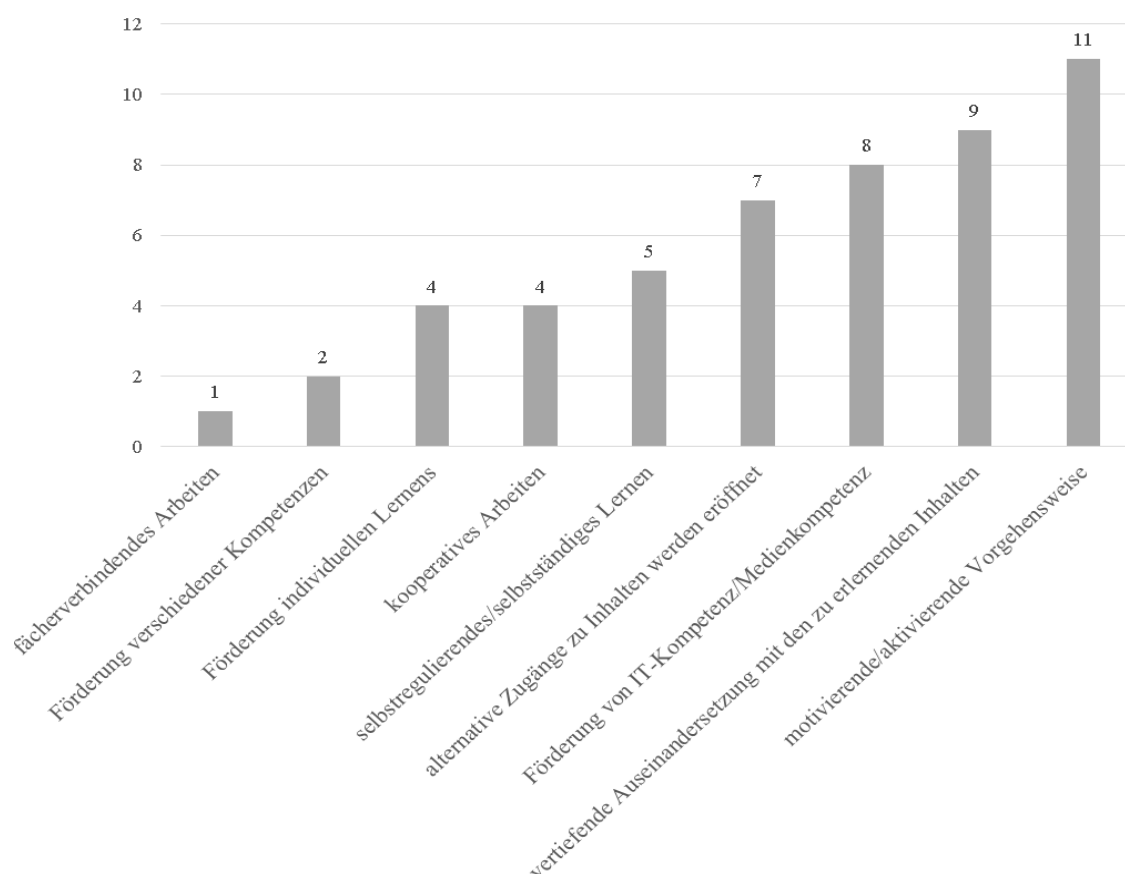
Ergänzend zur Einschätzung des Kompetenzerwerbs durch Learning by Design wurde im zweiten Messzeitpunkt erhoben, ob sich die Studierenden vorstellen können, Learning by Design im eigenen, zukünftigen Unterricht einzusetzen. Dazu sollten sie den Grad ihrer Zustimmung bzw. ihres Widerspruchs zur folgenden Aussage angeben: „Ich kann mir vorstellen, Learning by Design in meinem zukünftigen Unterricht einzusetzen.“

In Abbildung 10.11 sind die Häufigkeiten der verschiedenen Nennungen abgebildet. Die Mehrzahl der Studierenden ( $N = 35$ ) stimmte der Aussage teilweise ( $N = 17$ ) oder ganz zu ( $N = 18$ ). Nur insgesamt sechs Studierende widersprachen der Aussage teilweise ( $N = 5$ ) oder ganz ( $N = 1$ ). Es fällt auf, dass alle Nichtphysiker über eine positive Haltung gegenüber dem Einsatz von Learning by Design im zukünftigen Unterricht verfügen.



**Abbildung 10.11:** Einsatz von Learning by Design im zukünftigen Unterricht

Die Studierenden hatten die Möglichkeit, ihre Zustimmung bzw. ihre Ablehnung zur Aussage in einer offenen Antwort zu begründen. Als positiv wurde dabei am häufigsten (11 Nennungen) das motivierende und aktivierende Potential des didaktischen Konzepts „Learning by Design“ benannt. Am zweithäufigsten (9 Nennungen) benannten die Studierenden, dass Learning by Design eine vertiefte Auseinandersetzung mit den zu bearbeitenden Inhalten bewirkt. Als weitere Gründe wurden beispielsweise die Förderung von Medienkompetenz oder die Eröffnung alternativer Zugänge zu Inhalten benannt. Abbildung 10.12 gibt die weiteren Gründe für einen möglichen zukünftigen Einsatz mit der Anzahl an Nennungen wieder.



**Abbildung 10.12:** Anzahl von Nennungen an Gründen für möglichen Einsatz von Learning by Design im zukünftigen Unterricht

Tabelle 10.17 gibt exemplarische Begründungen derjenigen Studierenden wieder, die den Nutzen von Learning by Design reflektieren.

**Tabelle 10.17:** Begründungen für positive Haltung gegenüber einem möglichen Einsatz von Learning by Design im eigenen Unterricht

TIn	Gruppe	wörtliche Wiedergabe der Antworten
5	NP	Auch wenn man vorerst nicht unbedingt mit dem Thema übereinstimmt oder sich nicht angesprochen fühlt, ist Learning by Design eine super Methode und Möglichkeit, auf einer anderen Schiene bzw. auf einem anderen Kanal Zugang zu einem komplexen Thema zu bekommen und schnell mit selbst komplizierten Thematiken warm zu werden und diese produktiv umzusetzen! Das Erfolgserlebnis ist zudem relativ groß und motiviert, sich auch an fachfremde Themen zu wagen ...
20	NP	Learning by Design ermöglicht es, in einer heterogenen Klasse die Schülerinnen und Schüler auf verschiedenen Ebenen zu erreichen. Somit ist für jeden etwas dabei, für Schwache und für Starke. Ein individuelles Lernen ist dadurch möglich und die Teamarbeit und Selbstständigkeit wird neben vielem anderen gefördert.
36	P	Learning by Design kann sich meiner Meinung nach sehr positiv auf die Lernmotivation der Lernenden auswirken, da es nicht um das bloße Aufnehmen von Wissen geht, sondern einen stark selbstgesteuerten Lernprozess darstellt, an dessen Ende ein Produkt steht, das man präsentieren kann und worauf man stolz sein kann. Das Lernen passiert praktisch nebenbei.

- 34 P Wenn gut vorbereitet und durchgeführt, kann das erworbene Wissen sehr gut vernetzt werden und ich glaube, man kann es auch besser behalten. Sehr wichtig ist hier auch die Auswertung in der ganzen Gruppe oder in Expertengruppen, damit alle SuS nicht nur in ihrem Bereich Wissen erwerben.

**Anmerkung:** NP = Nichtphysiker, P = Physiker

Derjenige Studierende, der sich nicht vorstellen kann, Learning by Design im zukünftigen Unterricht einzusetzen, gibt als Begründung lediglich an: „Nicht so mein Ding“ (Tln 38, Physiker). Die eher kritischen Einstellungen gegenüber Learning by Design für den zukünftigen Unterricht gehen vor allem darauf zurück, dass die Studierenden einen zu großen Zeit- und Materialaufwand in der methodischen Umsetzung des didaktischen Konzepts sehen. Dabei zeigt sich in den Äußerungen, wie drei davon exemplarisch in Tabelle 10.18 wiedergegeben sind, dass das Konzept nicht grundsätzlich abgelehnt wird.

**Tabelle 10.18:** Begründungen für kritische Haltung gegenüber einem möglichen Einsatz von Learning by Design im eigenen Unterricht

Tln	Gruppe	wörtliche Wiedergabe der Antworten
24	P	stark gruppenabhängig (Motivation) großer Zeitaufwand Materialaufwand
40	P	Learning by Design ist eine tolle Methode, mit der fächerübergreifend unterrichtet werden kann. (Medieneinsatz, geschichtliche Hintergründe, physikalische Theorien) Allerdings benötigt diese Lernstrategie sehr viel Zeit und ich wage es zu bezweifeln, dass so viel Zeit der Lehrperson und ihren Schülern zur Verfügung steht. Eine Kontrolle über das Erlernte (Leistungskontrolle) bietet die Methode nach meiner Ansicht ebenfalls nicht. Die Schüler lernen durch diese Methode unterschiedlich viel. Sie sind auf unterschiedlichen Niveaus, sodass eine Leistungskontrolle in Form von einer Arbeit nur schwer möglich ist. Aus diesem Grund kann ich mir nicht richtig vorstellen, wie eine solche Methode im Unterricht umgesetzt werden soll.
41	P	Evtl. in abgeänderter Form, mit Bezug zum aktuellen Thema in der Klasse oder für Schüler sinnvollen Zusammenhang, Zweck in den aktuellen Kontext eingebettet, Thema ist mit der Klasse abgesprochen, damit die Schüler es als ihr eigenes anerkennen können und nicht vom Lehrer vorgesetzt. Mit klarer Rollenzuteilung und Arbeitsteilung, das Medienprodukt sollte einen Adressanten haben, hat somit mehr Sinn für Schüler und ist kein Selbstzweck --> dann kann ich es mir durchaus als geeignete Methode für eine Art Projektphase vorstellen.

**Anmerkung:** NP = Nichtphysiker, P = Physiker

Gerade in den Aussagen von Tln 40 und 41 aus Tabelle 10.18 fällt auf, dass ähnliche Aspekte wie in Tabelle 10.17 benannt werden. Einige Aspekte werden dabei ähnlich positiv dargestellt, andere Aspekte, wie beispielsweise das Lernen auf unterschiedlichen Niveaus, wird, im Unterschied zur Aussage von Tln 20 in Tabelle 10.17, als ein nachteiliger Aspekt von Learning by Design dargestellt.

**Zusammenfassend** wird der Nutzen von Learning by Design insgesamt positiv sowohl für den Erwerb von Mediennutzungskompetenzen als auch für Kompetenzen in der Wissensdomäne eingeschätzt.

Der Erwerb von Mediennutzungskompetenzen wird in der Gruppe der Studierenden ohne das Fach Physik größer eingeschätzt. Learning by Design wird von allen Studierenden positiv im Hinblick auf den Erwerb von Kompetenzen in der Wissensdomäne, wie z.B. vernetztes Denken, kritische Auseinandersetzung mit den zu bearbeiteten Inhalten oder die Förderung selbstständigen Lernens eingeschätzt.

35 Studierende (85%) können sich teilweise oder ganz vorstellen, Learning by Design in ihrem zukünftigen Unterricht einzusetzen. Als Gründe dafür werden vor allem der motivierende und aktivierende Charakter der Vorgehensweise und die vertiefte Auseinandersetzung mit den Inhalten genannt.

## 10.4 Ergänzende qualitative Studie

### 10.4.1 Fragestellung und Methode der ergänzenden Interviews

Mit den in Prä- und Post-Erhebung gewonnenen qualitativen Daten lassen sich verschiedene Zusammenhänge und Unterschiede auf Skalenniveau zwischen den Gruppen in jedem Messzeitpunkt einerseits sowie Veränderungen zwischen den Messzeitpunkten andererseits erklären. Da jedoch einige Studierende gerade im zweiten Messzeitpunkt in kurzen Darstellungen und teilweise fragmentarisch antworteten, wurden die im Anschluss an die Zweiterhebung durchgeführten Interviews genutzt, um weitere qualitative Daten ergänzend zu den offenen Antwortformaten in Bezug zu den festgestellten Veränderungen auf Skalenniveau zu analysieren. Die als flankierende Maßnahme geplanten Interviews hatten also weniger die Funktion, erneut angemessene und unangemessene Ansichten zu erfassen und den NOS-Kategorien zuzuordnen. Vielmehr sollten anhand der Interviews ergänzende Hinweise für die Interpretation der Ergebnisse der Fragebogenerhebung gewonnen werden. Bei der Analyse der Interviews standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Welche Ansichten zeigen die Studierenden bezüglich verschiedener NOS-Aspekte und dem Thema der Intervention?

*Bei dieser Frage interessierte besonders, wie die Studierenden die Inhalte der Intervention im Zusammenhang mit den Ansichten zu den NOS-Aspekten „Subjektivität/Theoriegebundenheit“ sowie „Kreativität & Vorstellungskraft“ bewerten, da in den Antworten des Fragebogens einerseits nur teilweise Zusammenhänge zu diesen Aspekten hergestellt wurden, andererseits diese Aspekte aber im Thema angelegt sind (vgl. Kapitel 7.3.3).*

- Finden sich in den Aussagen der Interviews Hinweise, die die positiven Veränderungen in der Gruppe der Physikstudierenden auf der Skala „Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften“ erklären können?

*In den offenen Items des Fragebogens nahmen die Physikstudierenden kaum Bezug auf Inhalte der Interventionsphase. Diesbezüglich wird in den Interviews u.a. gezielt*

*auf diesen Aspekt eingegangen, um die Veränderung zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt zu erklären.*

- Sind Unterschiede in der Argumentation zwischen Studierenden mit und ohne Studienfach Physik zu erkennen?

*Die in der Fragebogenerhebung angelegte Frage nach Unterschieden im Wissenschaftsverständnis von Physikstudierenden und Studierenden ohne das Fach Physik wurden anhand der Interviews ergänzend analysiert.*

Zudem wurden ergänzend zum Fragebogen nochmals die Meinungen und Einschätzungen der Studierenden zum didaktischen Konzept „Learning by Design“ sowie dem möglichen Einsatz von Learning by Design in der Schule erhoben.

#### 10.4.2 Stichprobe

Die Stichprobe für die ergänzenden Interviews bildeten je vier Studierende aus der Gruppe der Physikstudierenden und der Gruppe der Nichtphysiker. Die Teilstichprobe der Nichtphysiker bestand aus je zwei Studierenden männlichen und weiblichen Geschlechts. Die Physikstudierenden waren alle männlichen Geschlechts. Die Studierenden meldeten sich freiwillig zu den Interviews und erhielten für die Teilnahme jeweils 10,00 €. Um die Anonymität der Fragebogenerhebung zu wahren, wurden keine Zusammenhänge zwischen den beiden Fragebogenerhebungen und den Interviewten hergestellt.

#### 10.4.3 Material und Durchführung

Die Interviews mit den Studierenden wurden nach der Zweiterhebung durchgeführt und dauerten zwischen 29 bis 46 Minuten ( $M = 38.43$ ,  $SD = 4.32$ ). Die Leitfadeninterviews gliederten sich in verschiedene thematische Blöcke, die sich auf NOS-Aspekte bezogen, die auch mit dem Fragebogen erhoben wurden. Zu folgenden Fragen bzw. NOS-Aspekten erhielten die Studierenden eher angemessene und eher unangemessene Ansichten:

Zu Beginn jeder Phase erhielten die Studierenden Aussagen mit jeweils eher angemessenen und unangemessene Ansichten, die aus der im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Vorstudie bzw. Ankerbeispielen des VNOS-Fragebogens von Lederman et al. (2002) stammten. Die den Studierenden vorgelegten Aussagen bezogen sich auf folgende Fragen bzw. NOS-Aspekte des Fragebogens:

- Was ist Naturwissenschaft?
- Wie sicher sind sich Physiker über die Struktur von Atomen?
- Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft
- Soziokulturelle Einflüsse in den Naturwissenschaften
- Kontroverse zur Entstehung des Universums

Die Studierenden lasen sich die Aussagen durch und gaben anschließend den Grad ihrer Zustimmung oder Ablehnung auf einer vierstufigen Ratingskala an. Nachfolgend sind die zwei



Aussagen des Interviews zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften als Beispiele aufgeführt<sup>15</sup>.

Eher unangemessene Ansicht:

„Ich glaube, dass Naturwissenschaften universell sind, da Forscher aus allen Ländern und Kulturen zusammen arbeiten.“

Eher angemessene Ansicht:

„Ich denke, dass hier immer soziale und kulturelle Einflüsse eine Rolle spielen. Ein Wissenschaftler kann an sich nicht objektiv sein. So wenig wie ein Lehrer (unbewusst)“.

Diese Vorgehensweise ermöglichte es den Studierenden in der Interviewsituation zunächst nicht selbst ihre Ansichten zu den zum Teil anspruchsvollen Fragen zu äußern, sondern sich an Antworten anderer Personen zu orientieren, um danach eine eigene Position zu beziehen. Für den Interviewverlauf bedeutete das, dass die Studierenden immer wieder die jeweiligen Fragen und dazugehörigen Äußerungen lasen, den Grad ihrer Zustimmung bzw. Ablehnung auf der Ratingskala eintrugen, um dann im Interview ihr Rating zu begründen.

Die Interviews wurden transkribiert. Die verwendeten Transkriptionsregeln finden sich im Anhang (S. 353). Bei der Auswertung der Interviews dienten die Leitfragen und die Begründungen für die Zustimmung bzw. die Ablehnung der Ansichten als Kategorien. Dabei interessierte besonders, in welcher Form Inhalte der Interventionsphase in Bezug zu den angesprochenen NOS-Ansichten gesetzt werden.

#### 10.4.4 Ergebnisse der ergänzenden Interviews

Da die Ratings lediglich die Funktion hatten, einen Standpunkt zu beziehen, um diesen dann zu begründen, sind sie für die Auswertung der Interviews weniger relevant und werden hier auch nicht dargestellt.

Da in der Fragebogenerhebung vor allem Bezüge zwischen den Inhalten der Intervention und den NOS-Aspekten „Vorläufigkeit“ sowie „Theorien & Gesetze“ hergestellt wurden, andere Aspekte, wie z. B. „Kreativität & Vorstellungskraft“ oder „soziokulturelle Einflüsse“ gar nicht oder nur kaum in Bezug zu den Inhalten der Intervention gesetzt wurden, werden in der Darstellung der Ergebnisse der Interviews zuerst Aussagen der Studierenden vorgestellt, die einen positiven Einfluss der Intervention auf das Wissenschaftsverständnis erkennen lassen und ergänzende Informationen zu den offenen Antwortformaten des Fragebogens liefern. Ergänzend wird bei den folgenden Aussagen, die nach den Kategorien der NOS-Aspekte geordnet sind, jeweils angegeben, ob sie von Physikstudierenden oder Nichtphysikern stammen.

---

<sup>15</sup> Der Interview-Leitfaden mit allen Aussagen zu den unterschiedlichen NOS-Aspekten befindet sich im Anhang auf Seite 236.

*Ansichten zu Kreativität & Vorstellungskraft in den Naturwissenschaften*

Auch wenn in der Fragebogenerhebung auf Skalenebene keine signifikanten Veränderungen bezüglich der Ansichten zu Kreativität und Vorstellungskraft in den Naturwissenschaften zu erkennen waren und nur wenige Studierende diese Ansichten in den offenen Items in Bezug zum Inhalt der Intervention setzten, lassen sich in den Aussagen der Studierenden in den Interviews solche Bezüge erkennen. In den Antworten wird deutlich, dass die Interviewten die Bedeutung von Kreativität und Vorstellungskraft für die Forschung und die Wissensgenese erkannten.

So antwortet beispielsweise ein Interview-Teilnehmer<sup>16</sup> in Ablehnung der Aussage, Naturwissenschaftler würden keine Kreativität und Vorstellungskraft nutzen (vgl. Anhang, Seite 351):

„Da gibt es ja wirklich die verschiedensten Möglichkeiten, also die verschiedensten Theorien anzugehen, also das heißt jetzt gerade beim Licht, wenn das wirklich nur der eine Fall wäre, dann würde man ja nie mit einer anderen Möglichkeit oder mit einem anderen Versuchsaufbau auch machen, dann gäbe es ja immer nur die ideale Lösung und fertig. Also, deswegen muss man in dem Sinne auf jeden Fall kreativ oder beziehungsweise eine gewisse Vorstellung haben, was man überhaupt beweisen möchte, wie man es beweisen möchte oder wie man auch etwas, also viel wichtiger auch wie man etwas widerlegen kann.“ (I-Tln 2, Physiker)

Ähnlich äußerte sich ein anderer Physikstudierender mit Bezug auf die Forschung Newtons und Huygens:

„Ja, mir fällt der Name gerade nicht mehr ein von dem Versuch. Ja, und der [Newton] hat sich da schon was dabei überlegt, bei seiner Theorie, wie er, er war ja auch kreativ bei seinem Versuchsaufbau und der Huygens ja genauso.“ (I-Tln 3, Physiker)

Ein weiterer Physikstudent erkennt in der Herstellung des Zusammenhangs des Phänomens Licht zu Huygens und Newtons Modellvorstellung eine kreative Leistung der Forscher:

„Ja ich denke, die haben alle Kreativität und Vorstellungskraft gebraucht. Allein um auf die Idee zu kommen, dass Licht. (...) Wenn ich jetzt einfach in die Sonne schaue, an den Himmel schaue, also es ist hell, dann ist die Assoziation, weder die eine noch die andere da, keine die beobachtbar ist, ich sehe nicht sofort ein Teilchen, ich sehe nicht sofort eine Welle. Allein die Vorstellung. ‚Ich sage es ist ein Teilchen und ich überprüfe das dann‘. ‚Ich sage es ist eine Welle und überprüfe das dann‘, also ohne Kreativität wäre das wohl nicht gegangen.“ (I-Tln 4, Physiker)

Eine ähnliche Ansicht zur Rolle der Kreativität vertritt eine Teilnehmerin, wenn sie ebenso den Zusammenhang zwischen Phänomen und Modellvorstellung bezüglich des Inhalts der Intervention herstellt:

---

<sup>16</sup> Im Folgenden I-Tln

„Licht wahrscheinlich erst mal aus einer ganz anderen Sichtweise zu betrachten, das ist ja was, was man eigentlich gar nicht richtig wahrnehmen kann, aber immer da ist. Und darauf dann auf Formeln zu kommen, wie dass es eine Kraft gibt, eine Schwerkraft und solche Geschichten. Also das stelle ich mir als, das ist eigentlich unglaublich hoch an Vorstellungskraft von der Theorie oder Realität, die wir hier um uns haben und das Licht, dass wir immer um uns haben, so in die Theorie reinzukommen ist ja eigentlich unglaublich kreativ.“ (I-Tln 8, Nichtphysiker)

*Ansichten zu Subjektivität/Theoriegebundenheit im Umgang mit einer Kontroversen*

In der zweiten Fragebogenerhebung der Hauptstudie gingen die Studierenden nicht auf die Parallelen zwischen der Kontroverse zwischen Huygens und Einstein und der Kontroverse zur Frage nach der Entstehung des Universums ein. Im Interview werden diesbezüglich zum Teil auf Nachfrage Ähnlichkeiten zwischen den beiden Kontroversen erkannt. Es zeigen sich aber auch Unterschiede in der Bewertung dieser beiden Kontroversen, was eine Erklärung für die fehlenden Bezüge im Fragebogen sein könnte.

Gemeinsamkeiten zwischen beiden Kontroversen werden beispielsweise darin gesehen, dass beide Sachverhalte nicht letztendlich bewiesen werden können:

„Ja, Gemeinsamkeiten sind auf jeden Fall, dass man eben nichts von beidem in dem Sinne richtig beweisen kann, also das habe ich aber auch bei Modellen allgemein zugesprochen, also dass man die nie komplett beweisen kann, man kann ja nur falsifizieren.“ (I-Tln 2, Physiker)

Ein anderer Physikstudierender argumentiert eher mit dem NOS-Aspekt der Theoriegebundenheit, wenn er die Parallelen zwischen den Kontroversen darin sieht, dass verschiedene Meinungen zu einem Phänomen existieren können:

„Ja, eine Gemeinsamkeit ist, dass es eben auch mehrere Meinungen dazu gibt. Also beim Licht konnte ja schon die Wellentheorie als teilweise richtig aber nicht als vollkommen richtig anerkannt werden. Also es ist ein bisschen endgültiger als das hier, quasi ein bisschen weiter fortgeschritten, weil man kann bei diesem Urknall oder bei der Entstehung des Universums schon auch sagen, so ungefähr müsste es gewesen sein, aber ich finde da kann viel weniger ausgeschlossen werden, da könnte auch nochmal was komplett Neues kommen.“ (I-Tln 3, Physiker)

Dem Physikstudierenden erscheint die Frage nach der Natur des Lichts schon eher beantwortet, als die Frage nach der Entstehung des Universums. Das liegt auch daran, dass er dem Wissen über die Natur des Lichts zwar grundsätzliches Veränderungspotential zuschreibt, die Frage nach der Entstehung des Universums jedoch als komplexer erachtet:

„Ja, da sind wir schon näher am Ziel [Frage nach der Natur des Lichts], finde ich. Also es könnte klar auch nochmal was komplett Neues kommen, aber ich finde es unwahrscheinlicher, als beim Universum, weil das einfach, da finde ich das Licht dann doch

nochmal einfacher zu erforschen, auch wenn es schon sehr komplex ist, aber das hier [„Urknall“] finde ich noch schwieriger.“ (I-TIn 3, Physiker)

Ähnlichkeiten zwischen den Kontroversen sieht auch I-TIn 4, ebenfalls Physikstudent, der aber auch Unterschiede benennt. Die Unterschiede sieht er darin, dass die Forschung, die sich mit der Frage der Entstehung des Universums befasst, noch durch viel mehr soziokulturelle Aspekte beeinflusst wird, als die Forschung zur Natur des Lichts:

„Ja, da sind schon Ähnlichkeiten, wobei vielleicht die Auswirkung bei der Kontroverse, Urknall: ja, nein. Stady State: ja, nein. Ich glaube, da spielt einfach viel mehr noch mit, weil da wird vielmehr vom Menschen noch gerührt, die ganze Religion, das ganze Soziale. Es werden praktisch alle Bereiche des Lebens irgendwie damit angefasst.“ (I-TIn 4, Physiker)

Aus fachlicher Perspektive sieht dieselbe Person jedoch vor allem Gemeinsamkeiten zwischen den beiden Kontroversen in der Art der Erkenntnisgewinnung und der Modellbildung:

„Aber alleine vom Fachlichen, wenn es ums Physikverständnis geht, denke ich, dass sind eigentlich dieselben Sachen, das ist beides mal wieder (...). Wir haben Experimente, wir haben Modelle, wir können es mit verschiedenen Modellen erklären.“ (I-TIn 4, Physiker)

Es fällt auf, dass in den Interviews der Nichtphysiker keine vergleichbaren Aussagen zu finden sind, die als Gemeinsamkeiten der Kontroversen die Theoriegebundenheit,

#### *Ansichten zu Subjektivität/Theoriegebundenheit*

Weitere Ansichten zu Subjektivität und Theoriegebundenheit zeigen, dass sowohl Physikstudierende als auch Nichtphysiker in den Inhalten der Intervention erkennen, wie sich subjektive Faktoren auf naturwissenschaftliches Wissen auswirken. So lehnt I-TIn 2 die Aussage aus der Vorstudie ab, Naturwissenschaften wären gänzlich objektiv (vgl. Anhang, Seite 350):

„Hier bei Aussage 1a, ist halt, der behauptet im Prinzip, dass Naturwissenschaften komplett logisch aufgebaut sind und eben auch unabhängig von Meinungen und, also haben wir einerseits bei Learning by Design mit Newton, Huygens und Einstein gesehen, eben dass es sehr wohl unterschiedliche Meinungen sein können, auch die Zeit spielt natürlich eine Rolle.“ (I-TIn 2, Physiker)

In allen Interviews mit den Physikstudenten fällt auf, dass sie im Zusammenhang mit der Frage nach soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften die Bedeutung von Newtons wissenschaftlicher Autorität in der damaligen Scientific Community als Grund für den Erfolg Newtons Theorie anführen, obwohl dieser Zusammenhang überhaupt nicht von Physikstudierenden im Fragebogen benannt wurde. Im Folgenden sind alle entsprechenden Aussagen der Physikstudierenden nacheinander aufgeführt:

„Newton hatte sich einfach schon einen Namen verdient und deswegen hat sich seine Theorie damals auch stärker durchgesetzt als die von Huygens. Ja und das fand ich

auch sehr erstaunlich, dass sich so was da auch so, dass das so einen großen Faktor spielt.“ (I-Tln 1, Physiker)

„Naja, zumindest als Huygens und Newton sich gestritten, beziehungsweise verglichen haben und versucht haben, eben die richtige zu finden. Wenn man das jetzt mal als Annahme nimmt, dass sie sich zum Wohle der Wissenschaft getroffen haben und zum Ziel hatten, die richtige Formel rauszubekommen, hat der dann auch, der Newton, aufgrund von seiner Macht oder Einfluss eben den Streit oder den Diskurs gewonnen obwohl er nicht mehr Gründe oder beziehungsweise, zumindest nicht die komplette Lösung hatte.“ (I-Tln 2, Physiker)

„Ja, es war doch glaube ich so, dass die Theorie von dem Newton, die war ja falscher quasi, nein, die hatte ja auch ein bisschen was richtiges, aber der Huygens hatte seine Versuche besser belegt. Und trotzdem hat man dem Newton geglaubt, weil der vielleicht besser angesehen wurde oder den besseren Stand hatte auch und vielleicht als wichtiger angesehen wurde oder seine vorigen Ergebnisse als wichtiger interpretiert wurden. Dann musste er jetzt da auch Recht haben, weil diese Wellentheorie von Huygens war ja besser als die vom Newton.“ (I-Tln 3, Physiker)

„Ja, im Prinzip, war es ja durch Newtons hohes soziales Ansehen, war einfach seine Meinung die präsente, die angenommen wurde. Und der andere [Huygens], der dann halt als sozial nicht so einflussreich dastand, wurde halt nicht so wirklich wahrgenommen. (...) Im Prinzip waren ja beide mehr oder weniger in ihrem Thema objektiv. Natürlich, ein bisschen, sie waren halt objektiv für ihren Standpunkt, dass muss man schon so sagen. Aber ihren Standpunkt haben sie ja versucht, objektiv zu betrachten.“ (I-Tln 4, Physiker)

#### *Unterschiede in den Äußerungen zwischen Physikern und Nichtphysikern*

Auch bei einem Studierenden, der nicht Physik studiert, war die Ansicht, soziale und kulturelle Aspekte beeinflussen die Naturwissenschaften, zu finden, wobei jedoch in der Argumentation zu den Physikstudierenden ein Unterschied zu erkennen ist. Er erklärt den soziokulturellen Einfluss in Form von Newtons Vormachtstellung auf den Erfolg der Theorie mit den zeitlichen Umständen, unter denen die Kontroverse zwischen Newton und Huygens stattfand:

„Ich denke, ich denke da, natürlich gab es gerade in dieser Zeit sozio (...) und natürlich heute auch noch. Diese soziokulturellen Einflüsse. Spiegelt sich ja auch wieder, dass Huygens auch jetzt nicht so berühmt war, wie jetzt auch Newton, der schon so eine Ikone war, in der Zeit. Ich denke heutzutage, wenn man wirklich gute Leistung bringt, wird man dann auch anerkannt. Hat dann ganz andere, ganz andere sozio- soziales Umfeld, um auch Ideen vorzubringen und zu zeigen und ... Von dem her denke ich, Huygens war halt immer im Schatten von Newton, das haben wir ja dann auch gelernt. Von dem her, das war zum Beispiel so ein sozialer Unterschied. Zwischen den beiden. Das hat natürlich auch eine Rolle gespielt.“ (I-Tln 7, Nichtphysiker)

Es zeigen sich auch in weiteren Aussagen von Nichtphysikern, dass sie die Einflüsse von Subjektivität, Kreativität oder sozialer sowie kultureller Aspekte im Zusammenhang mit den Inhalten der Intervention erkennen, diese jedoch als Besonderheit dieses speziellen Themas beschreiben. Vor allem werden die Leistungen Huygens und Newtons in Zusammenhang mit soziokulturellen Aspekten, Subjektivität und Kreativität gesehen, weil sie unter anderen Bedingungen forschten. So argumentiert beispielsweise I-Tln 5, die Leistung Einsteins sei weniger kreativ als die von Huygens und Newton gewesen, ...

„(...) Da er in Newton und Huygens zwei Vordenker hatte. (...) Der hatte einfach schon diese zwei, zwei Vorreiter, da, ja ich glaube, da ist einfach schon ein bisschen Kreativität schon vorweg genommen, weil er einfach zwei Leute hatte, die sich quasi schon auf ihre Möglichkeiten gedeutet haben und dann wird man natürlich schon irgendwie so, hat man ja schon etwas mit dem, was man arbeiten kann.“ (I-Tln 5, Nichtphysiker)

Auch hält derselbe I-Tln die sozialen und kulturellen Einflüsse in Zeiten Newtons und Huygens als viel eher gegeben, als heutzutage:

„Also ich glaube, mittlerweile ist das wirklich ein bisschen so weit, dass das so universell ist, dass ja, dass das wirklich so einzelne soziale, kulturelle Werte nicht mehr so wirklich ausschlaggebend sind. (...) Ich glaube, das war früher nochmal ganz anders, aber jetzt wo alles so vernetzt ist.“ (I-Tln 5, Nichtphysiker)

Eine Nichtphysikerin beurteilt das Wissen über Licht als unsicher, schränkt diese Unsicherheit jedoch auf diesen Themenbereich ein, indem sie im Vergleich dazu Wissen über die Struktur von Atomen oder der Akustik als vergleichsweise sicher beurteilt:

„Also gerade beim Licht ist es jetzt, da gab es ja verschiedene Theoretiker, die da Stellung dazu genommen haben und Meinungen und Äußerungen dazu genommen haben, wie das, wie das aufgebaut sein könnte. Also ich glaube, in so grundlegenden Dingen wie jetzt Atome und so was, das ist ja schon. Oder zum Beispiel Akustik und wie das funktioniert. Schall, so Sachen, da sind sie sich schon sicher.“ (I-Tln 5, Nichtphysiker)

Diese Aussage lässt erkennen, dass die Nichtphysikerin nach der Learning by Design-Phase über das Wissen zum Kontext/Thema „Licht“ verfügt, dass unterschiedliche Theorien zu einem Phänomen bestehen können, was ihr epistemisches Urteil in diesem Kontext beeinflusst. Es zeigt sich aber auch, dass sie gerade bezüglich des Kontexts Teilchenphysik wenig oder kein Inhaltswissen hat, denn sonst könnte sie das Argument verschiedener Meinungen bzw. Theorien auf diesen Bereich übertragen.

Ähnliches lässt sich in der Argumentation von I-Tln 7 erkennen, der das Wissen über die Struktur von Atomen als sehr sicher beurteilt, nachdem er die Aussage, nicht tragfähige Modellvorstellungen würden abgeändert (vgl. Aussage 2a, Seite 350), ablehnt:

„Da eben, da hieß es ja, dass es nicht ganz sicher und nicht tragfähig, das finde ich nicht, dass es d-- eben, dass es nicht stimmt, diese Aussage, weil sie ist tragfähig, in

wie ich gesagt, in der Forschung von der Optik, Atomwissenschaft und so weiter, sie ist, muss trag--, sie ist tragfähig einfach, ja.“

Auf die Nachfrage des Interviewers, ob er das Wissen über Atome für sicher hält, antwortet er: „Ja. Absolut.“ Auf die sich anschließende Frage nach der Sicherheit des Wissens über die Natur von Licht zeigte sich I-TIn 7 dann weniger überzeugt:

„Das ist schwierig, ja. (leise) Was Licht ist, gell? (...) Licht ist knapp dreihunderttausend Kilometer pro Sekunde schnell. Aber das ist was, das kann man messen. Aber ob es Teilchen- oder Wellencharakter hat, da ist natürlich wieder so ein, so ein Problem, ja. Ach, schwierig, ja. Aber da sieht man, dass es halt Dinge gibt, die kann man sagen, ‚OK, das stimmt in allen, in allen Umgebungen auf der Erde, auf der Welt.‘ Die Geschwindigkeit, da kann man nichts rütteln dran, aber jetzt Teilchen- und Wellencharakter, da ist halt ein Feld, wo man einfach sagen muss, ok, man muss mit beiden Sachen rechnen und ausgehen. Da kommt dann wieder dieses, dieser Modellcharakter, man muss halt beides irgendwie als Modell sehen. Und beides integrieren.“

Bezüglich des NOS-Aspekts „Kreativität & Vorstellungskraft“ argumentiert I-TIn 7 ähnlich wie I-TIn 5. Er stellt die Rolle der Kreativität in der Forschung zur Natur des Lichts so dar, dass gerade zu Beginn der Forschung Kreativität nötig sei, im Laufe der Forschung die Kreativität von der für die Forschung nötigen Struktur verdrängt werde. So ist er der Meinung, dass man in der heutigen Zeit keine Kreativität bei der Erforschung von Licht benötigt.

„Ich denke, dass gerade bei den beiden, dass die schon sehr kreativ waren, in die-, die-dieser Schaffungsphase und dieser Ideenphase, aber ich denke, es hat etwas mit der Zeit zu tun. Weil, weil es gab ja nicht so viele Fakten schon zuvor, um jetzt Licht zu erklären. Das ist heute anders. Wenn man heute was sagt: ‚Ich forsche jetzt über das Licht‘, dann, dann gibt die Lage an Informationen ja überhaupt gar nichts krea- keine Chancen mehr irgendwie kreativ zu sein, weil es gibt ja schon so viele Fakten, wo einfach stimmen, ja, da sind wir wieder bei dem Problem. ja, sie stimmen einfach.“

(I-TIn 7, Nichtphysiker)

Im Unterschied zu den Nichtphysikern, die in der Forschung zur Natur des Lichts angemessene NOS-Aspekte erkennen, diese jedoch eher als Spezialfälle des Themas ansehen, sind in den Äußerungen der Physikstudierenden eher generalisierende Aussagen bezüglich der Physik zu erkennen. Es ist zu beobachten, dass Physikstudierende NOS-Aspekte wie Vorläufigkeit, Einfluss soziokultureller Aspekte, die Rolle der Kreativität sowie epistemische Urteile auf physikalisches bzw. naturwissenschaftliches Wissen als Ganzes generalisierend übertragen:

„Insofern müssen wir halt immer Theorien und Modelle erstellen und sie mit der Natur erklären und wenn dann ein Modell dann irgendwie nicht mehr passt, dann müssen wir es umändern und das gilt eigentlich für alle Theorien.“ (I-TIn 1, Physiker)

„Naja, auch in der Physik ist natürlich, wie man bei den Experimenten oder Versuchen beobachtet auch gewissen Regeln unterworfen. Die Regeln sollen natürlich dazu da

sein, dass es eben objektiv ist. Aber ja, alle Regeln sind von irgendjemand also einem Subjekt in gewisser Weise entworfen, beziehungsweise auch von mehreren verfeinert, dass sie größtmögliche Objektivität bieten. Aber subjektiv bleibt es immer noch oder Einflüsse auf jeden Fall.“ (I-Tln 2, Physiker)

„Es kommt schon auf die Personen an, die in bestimmten Zeiträumen leben, weil etwas neu erfunden wird, wird meistens schon von herausragenden Persönlichkeiten entdeckt. Das passiert dann nicht irgendwie zufällig, da ist schon immer ein kluger Kopf dahinter.“ (I-Tln 3, Physiker)

„Ich bin der Meinung, es wird nie eine absolute Sicherheit geben. Ich glaube, das ist einfach nicht möglich. Es sind einfach auch in anderen Bereichen viel zu viele Sachen, wo ich einfach sehe, dass es nicht erklärbar sein wird, wo ich einfach denke es geht nicht.“ (I-Tln 4, Physiker)

Die Unterschiede in der Argumentation zwischen Studierenden mit und ohne Fach Physik können dadurch erklärt werden, dass die Studierenden ohne Studienfach Physik, zu wenig Inhaltswissen bezüglich der gesamten Disziplin Physik haben, als dass sie die für sie empfundenen Besonderheiten in der Forschung zur Natur des Lichts auch in anderen Teilbereichen der Physik erkennen. Es zeigt sich, dass die Nichtphysiker die Rolle von Subjektivität und Theoriegebundenheit sowie Kreativität und Vorstellungskraft kontextspezifisch erkennen und auch entsprechende epistemische Urteile bilden, die von potentieller Vorläufigkeit und Unsicherheit in diesem Bereich der Forschung ausgehen. Andere Bereiche der Physik beurteilen sie dagegen als eher sicher oder universell und schreiben Aspekten wie Subjektivität und Kreativität eine geringere bzw. keine Bedeutung zu.

Bei einem Physikstudierenden (I-Tln 4) ist im Interview zwar ebenfalls eine Unterscheidung im Hinblick auf epistemische Urteile in unterschiedlichen Kontexten innerhalb der Physik zu beobachten, wobei die Unterscheidung eine andere Qualität hat als bei den Nichtphysikern. I-Tln 4 schreibt dem Wissen in der klassischen Physik eine größere Sicherheit als dem Wissen in der modernen Physik zu, wenn er sagt:

„Nun, ja. In den Grundlagen der Physik, die in den letzten paar 100 Jahren, paar 1000 Jahren geschaffen wurden, wenn man auf gröbere Physikstrukturen geht, die newtonsche Axiome zum Beispiel, würde ich schon sagen, dass da die Physik sehr genau ist und sehr sicher ist. Also ich glaube, da gibt es keine Änderungen mehr. Aber sobald man eben in moderne Bereiche geht, sobald man in spezifische Bereiche geht, wie Atomaufbau in ganz unbeobachtbaren Sachen, wo man halt dann eben unsere Theorien nicht mehr einfach verifizieren oder falsifizieren könnte, da wird es halt schwierig.“ (I-Tln 4, Physiker)

Diese unterschiedlichen epistemischen Urteile in den Kontexten klassischer und moderner Physik können als Hinweise auf die in Kapitel 4.4 aufgeführten Besonderheiten physikalischen



Wissens gewertet werden. Die verschiedenen Ontologien und Weltbilder klassischer und moderner Physik und das dem Teilnehmer darüber zur Verfügung stehende Wissen scheinen die Beurteilung der Sicherheit physikalischen Wissens zu beeinflussen.

*Selbsteinschätzungen der Auswirkungen der Learning by Design-Phase auf das Wissenschaftsverständnis*

Am Ende des Interviews wurden alle Interview-Teilnehmenden gefragt, wie sie die Auswirkungen der Learning by Design-Phase auf ihr Wissenschaftsverständnis einschätzen. Zwei Physikstudierende gaben an, dass sich aus ihrer Sicht keine Veränderungen in ihrem Wissenschaftsverständnis durch die Intervention ergaben und begründeten dies damit, dass sie sich mit Fragen zum Wissenschaftsverständnis entweder in der Schule oder privat schon intensiver auseinandersetzen. Ein Physikstudierender gab an, dass sich seine Ansichten veränderten. Auf die Frage des Interviewers, in welcher Form sich die Ansichten veränderten, antwortete er knapp: „Soziale Einflüsse und Subjektivität.“ (I-Tln 1, Physiker). Ein anderer Physikstudent gab an, ihm sei wieder die Bedeutung des Denkens in Modellen und die damit verbundene Vorläufigkeit bewusst geworden:

„Im Prinzip wurde mir nochmal bewusster, dass es eben alles Modelle sind. Also dieses Modelldenken, dass es wirklich vorläufig ist.“ (I-Tln 2, Physiker)

Ebenso gab ein Nichtphysiker an, dass auch ihm erneut einiges bewusster wurde:

„Also ich glaube, es wurde mir einfach nochmal so aufgezeigt, dass es einfach doch veränder-- die Ansichten sich verändern, dass ich davor vielleicht auch gewusst hätte, wenn ich darüber nachgedacht hätte, aber man macht das halt nicht, glaube ich.“  
(I-Tln 1, Nichtphysiker)

Die anderen drei Nichtphysiker gaben an, ihr Wissenschaftsverständnis habe sich durch die Learning by Design-Phase verändert. Nachfolgend sind die entsprechenden Äußerungen aufgeführt, die sich je auf verschiedene Aspekte von Veränderungen in den Ansichten beziehen:

„Also, das, was sich wahrscheinlich jetzt so rausgestellt hat, dass Wissen unglaublich subjektiv ist. Oberflächlich betrachtet dachte ich immer, es ist weitaus objektiver, aber jetzt komme ich immer mehr für mich zu dem Schluss, dass es subjektiv ist, dass es, dass unglaublich viele kreative Prozesse in Gang gesetzt werden, um da schlussendlich zu einem Ergebnis zu kommen. Ja, das ist für mich dann so rausgekommen.“  
(I-Tln 8, Nichtphysiker)

„Ich hinterfrage, vielleicht, ich hinterfrage anders und stütze mich nicht immer auf meine Vorerfahrungen die ich habe, sondern sag mir, ich weiß halt nur so viel und habe halt nur den Wissenshorizont sozusagen, mit dem gehe ich da ran, das kann mir was bringen, aber das kann mir auch nichts bringen.“ (I-Tln 6, Nichtphysiker)

„Oh doch. Vor allem im Alltag, finde ich. Eben gerade diese Kontroverse, die Kontroversität, dass es, dass man da wieder nahegebracht wird, dass es Kontroversen gibt.

Und ich denke da eben gerade mit der Zeit ist es menschlich, automatisch immer wieder auf dieses Einspurige zu gehen. Das ist so und das ist so. Und mit dem gehe ich und fertig. Und das ist am einfachsten. Und gerade in der Phase kann man wieder in dieses Denken: ‚Ok, es gibt immer wieder zwei, drei Meinungen und irgendwie haben sie beide denselben Kern und irgendwie stimmt beides doch‘. Und das trägt man auch in den Alltag.“ (I-Tln 7, Nichtphysiker)

*Ergänzende Bewertung des didaktischen Konzepts „Learning by Design“*

Am Ende des Interviews wurden die Studierenden nochmals zu ihrer Einschätzung des Einsatzes von Learning by Design in der Schule befragt. In den Antworten wurden zum Teil ähnliche Aussagen getroffen, wie auch schon in der Fragebogenerhebung (vgl. Kapitel 10.3.6), nur dass die Antworten im Vergleich zur Fragebogenerhebung ausführlicher waren.

Noch deutlicher als in den Antworten des Fragebogens artikulierten die Nichtphysiker, dass ihnen durch den Learning by Design Ansatz der Zugang zum Thema erleichtert wurde bzw. dass sie motiviert waren, sich mit einem für sie unattraktiv erscheinenden Thema einer für sie negativ belegten Disziplin auseinanderzusetzen, was in der folgenden Äußerungen deutlich wird:

„Also ich muss sagen, am Anfang des Seminars habe ich mich etwas ins kalte Wasser geschmissen gefühlt, weil ich auch nicht wusste, dass es wirklich um knallharte physikalische Fakten geht. Aber ich habe nicht gleich stagniert und gesagt: ‚Mache ich nicht, will ich nicht.‘ Sondern ich wollte es dann auch probieren, weil ich nicht der wahnsinnige Computerheld war und das noch nie so gemacht habe, habe ich wirklich viel mitgenommen. Auch durch meine Gruppe, in der ich war. Ich finde das eine total gute Möglichkeit, um selbst an Themen, an denen man vielleicht nicht so interessiert ist, da einfach schnell fit zu werden und sich damit auch intensiv auseinander zu setzen in eigentlich relativ kurzer Zeit. Und da was auf die Beine zu stellen und wirklich ein Produkt zu haben am Schluss, was man zusammen konstruiert hat und jeder seinen eigenen Teil dazu beigetragen hat, seinen Part. Also, ich fand das schon richtig gut.“ (I-Tln 6, Nichtphysikerin)

Ähnlich argumentiert I-Tln 8, wenn sie erklärt, dass sie sonst gegenüber Mathematik oder Physik eine ablehnende Haltung verspürt, die sie bei der Auseinandersetzung mit dem Thema im Rahmen des Learning by Design-Ansatzes nicht hatte.

„Und, dass diese Wege, die Physik zu betrachten, dass die auch von meinen Gedanken ausgehen. Ich habe immer das Gefühl gehabt, eben da macht es zu. In der Physik und in der Mathematik macht es bei mir immer zu. (...)“

Ich habe nie so weit gesehen, dass Physik eigentlich mit allem zu tun hat und ich mir nicht sagen darf, ich verstehe nichts von Physik. Physik kommt ja jeden Tag in meinem Leben vor, das ist mir davor nicht bewusst geworden. Oder ich hätte es gar nicht in meinem Bewusstsein gelassen, weil ich so wenig mit solchen Themen zu tun habe.“ (I-Tln 8, Nichtphysikerin)

Laut der Aussage von I-Tln 5 bewirkte die vom Learning by Design-Ansatz ausgehende Motivation, dass er nicht die Seminarveranstaltung verließ und er sich bis zum Ende mit dem Thema auseinandersetzte:

„Ich habe ein Ingenieurs-Studium wegen Physik abgebrochen und mir danach geschworen, nie wieder etwas mit Physik zu tun haben zu wollen. Als Sie uns dann das Thema der praktischen Phase sagten, dachte ich zunächst: Da mache ich nicht mit.“ Aber ich bin bis zum Schluss dabei geblieben und es war ok.“ (Tln 5, Nichtphysiker)

## 10.5 Diskussion

*Zu Frage 1: Lässt sich das Wissenschaftsverständnis von Lehramtsstudierenden im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes verändern? Falls ja, welche Veränderungen sind zu beobachten?*

Die in Kapitel 10.3.1 dargestellten Phasen des Learning by Design-Konzepts initiierten in beiden Interventionsgruppen sowohl individuell als auch kollaborativ ausgerichtete Lernprozesse, in denen sich die Studierenden anhand eines exemplarischen Themas mit Wissen zur Gewinnung und Veränderung der Theorie der Natur des Lichts auseinandersetzten und dadurch auch implizit eine Auseinandersetzung mit verschiedenen Aspekten der Nature of Science stattfand. Im Rahmen von zwei Hochschulseminaren entstanden unabhängig voneinander zwei Medienprodukte in Form von Hypertexten, in denen NOS-Aspekte, wie z. B. die Unterschiede zwischen Theorien und Gesetzen oder der Einfluss soziokultureller Aspekte zu erkennen sind. Es wurde untersucht, ob und wie sich diese produktive Auseinandersetzung mit Inhalten, die aufzeigen, wie Wissen in Physik in soziokulturellen Kontexten von kreativen Forscherpersönlichkeiten generiert, weitergegeben, kontrovers diskutiert und modifiziert wird, auf das Wissenschaftsverständnis der Studierenden auswirkte.

Bei der Analyse des Wissenschaftsverständnisses zum Zeitpunkt vor der Intervention wurde beim Vergleich von disziplinspezifischen und themenspezifischen epistemischen Urteilen zunächst festgestellt, dass genauso wie in der Vorstudie disziplinspezifisches Wissen in der Physik anders beurteilt wird als themenspezifisches Wissen über die Struktur von Atomen. Ebenso lassen sich genauso wie in der Vorstudie vor der Intervention auf Skalenebene keine Unterschiede im Wissenschaftsverständnis zwischen Physikern und Nichtphysikern feststellen. Dagegen zeigten Physikstudierende mehr angemessene NOS-Ansichten bezüglich der Ansichten zu Theorien und Gesetzen, der empirischen Basis der Naturwissenschaften und der Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft. Ausgehend von den Ergebnissen der einfaktoriellen MANOVA und den nichtparametrischen Vergleichen zeigt sich ein ähnliches Bild im Verhältnis der Antworten auf Skalenebene zu den Antworten der offenen Items wie in der Vorstudie. So wird beispielsweise deutlich, dass ähnliche epistemische Urteile verschiedener Studierenden auf qualitativ unterschiedlichen kognitiven Elementen basieren.

Beim multivariaten Vergleich des Wissenschaftsverständnisses auf Skalenebene vor und nach der Intervention wird ein Trend zur Veränderung des Wissenschaftsverständnisses in der gesamten Stichprobe sichtbar. Als wesentliche Ursache für diesen Trend sind die Veränderungen der epistemischen Urteile zum disziplinspezifischen Wissen in Physik zu erkennen. Im Vergleich zur Beurteilung des Wissens in Physik vor der Intervention, beurteilten die Studierenden Wissen in Physik nach der Intervention beispielsweise als weniger objektiv, weniger absolut und weniger exakt. Noch stärker waren die Veränderungen der epistemischen Urteile bezüglich der Variabilität von Wissen in Physik. Die Studierenden beurteilten Wissen in Physik nach der Intervention beispielsweise als offener, widerlegbarer, flexibler und unvollständiger als vor der Intervention ein.

Des Weiteren wird beim multivariaten Vergleich in einem Globaltest deutlich, dass die Physikstudierenden bezüglich ihres Wissenschaftsverständnisses stärker von der Interventionsmaßnahme profitierten. Anhand von weiteren Analysen, in denen die einzelnen gemessenen Konstrukte vor und nach der Intervention verglichen wurden, konnte gezeigt werden, dass es die Ansichten zu den soziokulturellen Einflüssen sind, die sich am stärksten auf das anhand von geschlossenen Items gemessenen globalen Wissenschaftsverständnis der Physikstudierenden auswirkten. Im Hinblick auf die intendierte Veränderung des Wissenschaftsverständnisses lässt sich deshalb, ohne Berücksichtigung der qualitativen Daten, folgern, dass das Fachwissen der Physikstudierenden einen positiven Einfluss auf die Wirkung der Intervention hatte.

Mit Blick auf die Analysen der qualitativen Daten kann festgestellt werden, dass die Unterschiede zwischen Physikstudierenden und Nichtphysikern im zweiten Messzeitpunkt nicht mehr feststellbar waren, wohingegen die Physikstudierenden vor der Intervention im Vergleich mehr angemessene NOS-Ansichten in den Kategorien "Theorien & Gesetze", Empirische Basis" und "Vorstellungen zu Kreativität & Vorstellungskraft" zeigten. Dies kann damit erklärt werden, dass die Nichtphysiker erworbenes Wissen aus der Medienproduktion nutzten, um ihre Ratings im zweiten Messzeitpunkt zu begründen.

Beim Abgleich der qualitativen mit den quantitativen Daten fiel ein Zusammenhang auf, der für die Wirksamkeit des im Rahmen von Learning by Design bearbeiteten Inhaltswissen auf das Wissenschaftsverständnis spricht. Zunächst war bezüglich der Veränderungen der epistemischen Urteile kein Unterschied zwischen der Gruppe der Physiker und Nichtphysiker zu erkennen. Die epistemischen Urteile veränderten sich in beiden Gruppen gleichermaßen dahingehend, als dass physikalisches Wissen von den Studierenden nach der Medienproduktion als beispielsweise eher relativ oder eher dynamisch beurteilt wurde. In der Stichprobe konnten jedoch zwei weitere Gruppen identifiziert werden: Studierende, die unabhängig vom Fach in den Argumentationen der offenen Items ihre NOS-Ansichten zum Thema mit Inhalten aus der Medienproduktion stützten und Studierende die keinerlei Bezug zu Inhalten der Interventionsmaßnahme herstellten. Das Wissenschaftsverständnis derjenigen Studierenden, die Inhalte der Intervention für ihre Argumente und Begründungen in den offenen Items anführten, veränderte

sich im Unterschied zu denjenigen Studierenden, die nicht auf Inhalte der Intervention zurückgriffen, um ihre Ratings argumentativ zu stützen. Denn etwa die Hälfte der Studierenden, gleichermaßen Physiker und Nichtphysiker, stellten in den offenen Items Bezüge zwischen Inhalten der Intervention und NOS-Aspekten her, wenn sie ihre Meinungen und Begründungen zu ihren Ratings darlegten. Bei denjenigen, die diese Bezüge herstellten, zeigten sich größere Veränderungen bei der Bildung epistemischer Urteile zu Wissen in Physik. Es sind vor allem NOS-Ansichten zur Veränderlichkeit und Vorläufigkeit von Theorien, die die Studierenden in den offenen Items in Bezug zu den Inhalten der Intervention setzten. Ausgehend von dieser Beobachtung lässt sich erklären, weshalb sich die epistemischen Urteile bezüglich der Variabilität von Wissen in Physik am stärksten veränderten: Indem die Studierenden in je zwei Gruppen ein Medienprodukt erstellten, das aufzeigt, wie sich die Theorie von Licht über die Zeit veränderte und dabei verschiedene Forscher mit ihren unterschiedlichen Ideen und Meinungen zur Veränderung physikalischen Wissens beitrugen, veränderte sich die Beurteilung des disziplinspezifischen Wissens in Physik sowohl in der Dimension Textur als auch in der Dimension Variabilität, wobei die Veränderungen bezüglich der Variabilität stärker waren.

Ausgehend von den bisher diskutierten Ergebnissen lässt sich feststellen, dass sich der didaktische Ansatz von Learning by Design nicht nur, wie in Kapitel 5 dargelegt, für den Erwerb von Wissen und der Förderung von verschiedenen Kompetenzen eignet, sondern dass durch die Auseinandersetzung mit Wissen, das beispielsweise Hintergründe der Theoriebildung, die Methoden und Biographien der Forscher sowie die Veränderung von Wissen beinhaltet, das Wissenschaftsverständnis von Studierenden verändert werden kann. Welche Bedeutung dabei das Fachwissen der Studierenden bei den Veränderungen spielt, wird im Zusammenhang mit der zweiten Fragestellung beantwortet.

Des Weiteren stellt sich die Frage, wieso etwa nur die Hälfte der Studierenden Inhalte aus der Intervention aufgegriffen haben, um mit ihnen in den offenen Items zu argumentieren. Auf diesen Aspekt wird weiter unten in Kapitel 11 eingegangen.

*Zu Frage 2: Welche Rolle spielt das Fachwissen der Studierenden bei etwaigen Veränderungen des Wissenschaftsverständnisses?*

Vor der Intervention unterschieden sich die beiden Gruppen der Physiker und Nichtphysiker, wie oben dargelegt, bezüglich der Anzahl festgestellter angemessener Ansichten signifikant. Dieser Unterschied ist nach der Medienproduktion nicht mehr nachzuweisen, was auf das erworbene Wissen der Nichtphysiker während der Medienproduktion zurückgeführt werden kann. Es ist zu erkennen, dass viele Nichtphysiker vor der Intervention nur wenige oder keine Grundlagen für die Darlegung ihrer Sichtweisen hatten, mit denen sie ihre Ratings begründen konnten. Nach der Intervention nutzten sie dagegen Inhaltswissen der Intervention, um ihre Argumente zu begründen. Durch den Erwerb von Inhaltswissen zur Wissensgenese in Physik bezüglich der Natur des Lichts erwarben die Nichtphysiker in einem exemplarischen Kontext Grundlagen für die Darlegung ihrer Ansichten.

Beim Vergleich der Veränderungen des Wissenschaftsverständnisses auf Skalenebene zwischen Physikern und Nichtphysikern zeigten sich in der Gruppe der Physiker größere Veränderungen, was auf die NOS-Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften zurückgeführt werden kann. Es fällt jedoch auf, dass keine/r der Physikstudierenden bezüglich dieses Aspekts explizit Verbindungen zu den Inhalten der Intervention herstellt. In den offenen Antworten des Fragebogens lassen sich dafür aber bei einigen der Physikstudierenden, die ihre Ansichten bezüglich soziokultureller Einflüsse auf Skalenebene veränderten, eine Veränderung in der Argumentation erkennen, indem sie im zweiten Messzeitpunkt den Einfluss auf den einzelnen Forscher im Allgemeinen in den Blick nahmen, wenn sie Beispiele für soziokulturelle Einflüsse nannten. Es scheint die bedeutende Rolle der Popularität Newtons und seiner wissenschaftlichen Autorität in der damaligen Scientific Community auf den Erfolg der Korpuskulartheorie zu sein, die die Veränderung der Ansichten bei den Physikstudierenden bewirkte, ohne dass sie dies so in den offenen Items benennen. Darüber hinaus fällt auf, dass im Medienprodukt von Interventionsgruppe B (Veranstaltung des Medieninstituts) auf ähnliche Weise auf die soziokulturellen Aspekte in den Naturwissenschaften eingegangen wird, ohne dass sich Veränderungen auf Skalenebene bei den Nichtphysikern erkennen lassen. Das erworbene Wissen über die Bedeutung der Popularität Newtons und dessen hervorgehobener Stellung in der damaligen Scientific Community bewirkt in der Gruppe der Physikstudierenden im Unterschied zu den Nichtphysikern eine Veränderung im Wissenschaftsverständnis. Die Frage, warum die Physikstudierenden stärker von der Intervention profitierten, kann mit Hilfe der Ergebnisse der ergänzenden Interviews und auf dem Hintergrund der Theorie der Generativen Natur epistemischer Urteile erklärt werden.

Zunächst ist festzustellen, dass sowohl Physiker als auch Nichtphysiker verschiedene NOS-Aspekte in den Inhalten der Intervention erkennen. So wird die Rolle der Kreativität und Vorstellungskraft für die Erkenntnisse zur Natur des Lichts von drei der vier interviewten Physikstudierenden erkannt, ebenso in einer Äußerung einer/eines Studierenden ohne das studierte Fach Physik. Auf Nachfrage des Interviewers erkannten drei der vier Physiker Parallelen zwischen der Kontroverse um die Natur des Lichts zwischen Newton und Huygens und der im Fragebogen thematisierten Kontroverse um die Entstehung des Universums. Als Gemeinsamkeiten der beiden Kontroversen werden beispielsweise Prinzipien der Theorie- und Modellbildung sowie die Theoriegebundenheit bei der Interpretation der Daten gesehen. Bei den Nichtphysikern dagegen sind keine Äußerungen zu finden, die darauf schließen lassen, dass sie ähnliche NOS-Aspekte in beiden Kontroversen erkennen. Des Weiteren erkennen sowohl Physikstudierende als auch Nichtphysiker in den Inhalten der Intervention die Bedeutung der Subjektivität bei der Vorgehensweise der Forscher. Alle Physikstudierende gehen im Zusammenhang mit der Frage nach den soziokulturellen Einflüssen auf die herausragende Rolle von Newtons Einfluss und Macht für den Erfolg seiner Theorie von Licht ein. Dies ist insofern bedeutsam, als dass in der Fragebogenerhebung kein Physikstudierender dies in den offenen Items explizit benennt.

Insgesamt wird in den Äußerungen und Argumenten der Interviews im Vergleich zu den offenen Items des Fragebogens noch deutlicher, dass sowohl die Physikstudierenden als auch die Studierenden ohne das Fach Physik während der Medienproduktion Wissen erworben haben, das ihre Ansichten zur Natur der Naturwissenschaften und ihre epistemischen Urteile beeinflusst.

Auffallend erscheint in den Interviews eine Besonderheit in den Äußerungen und Argumenten der Nichtphysiker, die auf die Rolle des fach- und themenspezifischen Wissens für das Wissenschaftsverständnis schließen lässt. Es ist zu erkennen, dass sie die Inhalte, die sie während der Medienproduktion bearbeitet haben, bezüglich deren NOS-Aspekten und deren epistemischer Beurteilung anders einordnen, als sonstiges physikalisches Wissen. Folgende Besonderheiten im Vergleich zur Argumentation der Physikstudierenden sind in Äußerungen der Nichtphysiker zu erkennen:

- Soziokulturelle Einflüsse auf physikalisches Wissen werden als Besonderheit der Zeit von Huygens' und Newtons Wirken aufgefasst. Dagegen werden solche Einflüsse auf die Forschung in der heutigen Zeit eher ausgeschlossen.
- Die Bedeutung der NOS-Aspekte „Kreativität & Vorstellungskraft“ und „Subjektivität“ werden als Besonderheit des spezifischen Themas „Natur des Lichts“ aufgefasst.
- Die Nichtphysiker erkennen keine Parallelen zwischen der Kontroverse um die Natur des Lichts und der im Fragebogen aufgeführten Kontroverse um die Entstehung des Universums
- Das Wissen über die Natur des Lichts wird als unsicher beurteilt, wohingegen anderes physikalisches Wissen als sicher beurteilt wird.

Die Aussagen der Physikstudierenden deuten dagegen darauf hin, dass sie das in der Intervention erworbene Wissen über die Entstehung der Theorie zur Natur des Lichts auch auf andere Bereiche und Themen der Physik transferieren, was an den generalisierenden Aussagen zur Bedeutung verschiedener NOS-Aspekte zu erkennen ist. Aufgrund ihres Wissens über die Erkenntnisgewinnung und Theoriebildung in anderen Bereichen der Physik, können sie neu erworbenes Wissen über die Entstehung und Veränderung von Theorien auf andere Bereiche der Physik übertragen.

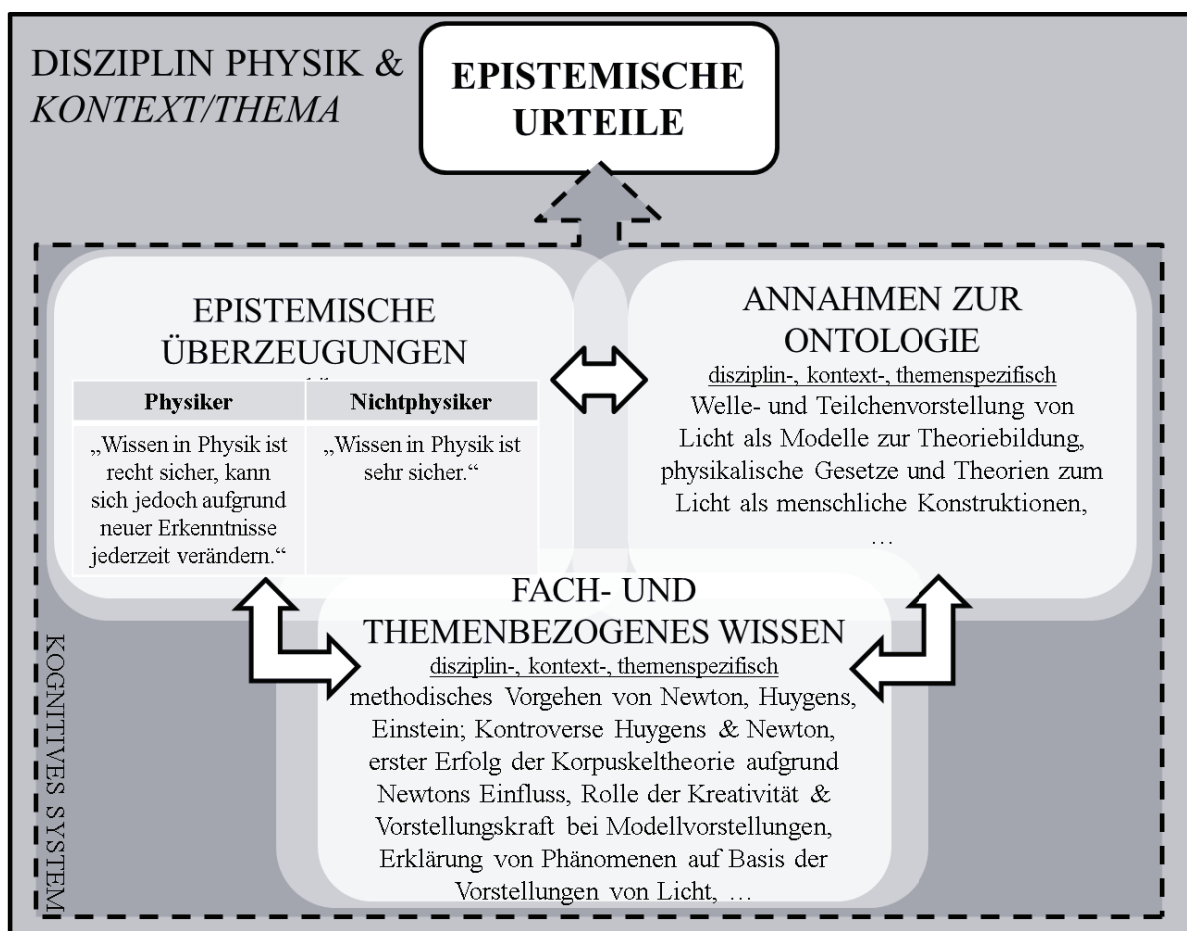
In den Interviews zeichnet sich also ab, dass die Physikstudierenden im Unterschied zu den Nichtphysikern, verschiedene NOS-Aspekte, wie z.B. soziokulturelle Einflüsse auf die Forschung, die Theoriegebundenheit von Beobachtungen und Modellbildung, die Unsicherheit sowie Veränderlichkeit von Theorien, nicht nur als Spezialfälle in der Theoriebildung zur Natur des Lichts verstehen, sondern den exemplarischen Inhalt der Intervention auf andere Bereiche der Theoriebildung und Wissensgenese in Physik übertragen.

Umgekehrt ist bei den Nichtphysikern zu erkennen, dass sie die bearbeiteten Inhalte der Intervention eher als themenspezifische Besonderheiten und Ausnahmen der Wissenschaftsgeschichte verstehen und entsprechende NOS-Ansichten zwar im Zusammenhang mit dem

Thema der Learning by Design-Phase zeigen, diese Ansichten aber nicht genauso wie die Physiker auf andere Bereiche der Physik übertragen.

Auf dem Hintergrund des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile und dessen Heuristik zur Bildung epistemischer Urteile (vgl. Bromme et al., 2008; Stahl, 2011) sowie der im Rahmen dieser Arbeit davon abgeleiteten Heuristik zum Wissenschaftsverständnis in naturwissenschafts- bzw. physikspezifischen Kontexten (vgl. Kapitel 4) können die beobachteten Auswirkungen des Wissenserwerbs während der Medienproduktion wie folgt erklärt werden.

Physikstudierende und Nichtphysiker haben Wissen zur Entstehung und Veränderung der Theorie von Licht erworben, das sich kurzfristig auf das Wissenschaftsverständnis der Studierenden auswirkt, was in Abbildung 10.13 schematisch mit Hilfe der Heuristik dargestellt ist.



**Abbildung 10.13:** Erklärung für die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch die Intervention

Die Studierenden verfügen nach der Intervention über neues themenspezifisches Wissen und haben auch entsprechende themenspezifische Annahmen zur Ontologie. Die unterschiedliche Auswirkung der Intervention bei Physikern und Nichtphysikern kann damit erklärt werden, dass die Physikstudierenden nicht nur über neues Wissen zur Theoriebildung bezüglich der Natur des Lichts verfügen, wie es exemplarisch Inhalt der Interventionsmaßnahme war, sondern sie verfügen auch über weiteres Wissen aus anderen Bereichen und zu anderen Themen der



Physik. Die Physikstudierenden erkennen aufgrund ihres erweiterten Fachwissens in der Erkenntnisgewinnung und Theoriebildung zur Natur des Lichts Gemeinsamkeiten zu anderen Bereichen der Physik und generalisieren die erworbenen neuen Erkenntnisse. Auch bei den Nichtphysikern ist aufgrund des neu erworbenen Wissens eine Veränderung des Wissenschaftsverständnisses zu beobachten. Die Argumentation der Nichtphysiker deutet jedoch darauf hin, dass sie das neu erworbene Wissen mit den entsprechenden NOS-Ansichten und die entsprechenden epistemischen Urteile lediglich auf das spezifische Thema der Interventionsmaßnahme beziehen.

Neben dem Einfluss des fach- und themenspezifischen Wissens können aufgrund des Vergleichs zwischen den Äußerungen der Physiker und Nichtphysiker in den Interviews darüber hinaus auch Hinweise auf das Vorhandensein stabilerer epistemischer Überzeugungen gefunden werden. Im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile können bei der Beurteilung von Wissen oder Aussagen stabilere epistemische Überzeugungen aktiviert werden, die dann mit fach- und themenspezifischem Wissen und Annahmen zur Ontologie interagieren. Dass die Nichtphysiker das neu erworbene Wissen nicht auf andere Bereiche der Physik anwenden, kann ein Hinweis dafür sein, dass sie der Überzeugung sind, physikalisches Wissen sei zu objektiv, sicher und unveränderlich, als dass Aspekte wie z.B. soziokultureller Einfluss oder Kreativität und Vorstellungskraft eine Rolle bei dessen Generierung spielen. Zwei der vier Nichtphysiker benennen das auch explizit, indem sie dem Wissen über Atome eine sehr große bzw. absolute Sicherheit zusprechen, wohingegen sie das Wissen über die Natur des Lichts nach der Medienproduktion für sehr unsicher halten (vgl. S. 251-252). In den Äußerungen der Physikstudierenden lassen sich dagegen auch Hinweise auf das Vorhandensein stabilerer epistemischer Überzeugungen finden. Die Physikstudierenden äußern in den Interviews beispielsweise, dass sich grundsätzlich durch neue Erkenntnisse Modelle und Theorien jederzeit verändern können oder dass es nie eine absolute Sicherheit geben wird, was auf disziplinspezifische oder sogar disziplinunabhängige epistemische Überzeugungen hinweist, in denen von einer grundsätzlichen Veränderbarkeit von Wissen in der Physik ausgegangen wird. Dass die Physikstudierenden im Unterschied zu den Nichtphysikern über solche epistemischen Überzeugungen verfügen, kann im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile damit erklärt werden, dass sich solche Überzeugungen in Interaktion mit anderen kognitiven Elementen, wie z.B. fach- und themenbezogenem Wissen und Annahmen zur Ontologie in der Physik, beispielsweise durch das verstärkte Interesse an unterschiedlichen physikalischen Themen und dem im Studium erworbenen Fachwissen über verschiedene Bereiche und Teildisziplinen der Physik, entwickelt haben. Die im Interview gezeigten stabileren Überzeugungen der Nichtphysiker, Wissen in Physik sei grundsätzlich sicher und unveränderlich, können sich beispielsweise im Laufe ihrer Schulzeit entwickelt haben. Stahl (2011, S. 57) geht davon aus, dass sich stabilere aber auch gleichzeitig kontextuell flexible, angemessene epistemische Überzeugungen dadurch herausbilden, indem Lernende immer wieder Wissen unterschiedlicher Kontexte und unterschiedlicher Disziplinen

bewerten müssen. Die beobachtete Argumentation der Physikstudierenden, die eher generalisierend die neuen Erkenntnisse auf physikalisches Wissen im Allgemeinen übertragen, kann also damit erklärt werden, dass sie durch ihr Wissen über verschiedene Inhalte und Bereiche der Physik schon entsprechende epistemische Überzeugungen entwickelt haben. Ein Physikstudierender zeigt im Interview bei der Beurteilung von physikalischem Wissen die Flexibilität, zwischen den in Kapitel 4.4 beschriebenen Kontexten der klassischen und der modernen Physik zu unterscheiden (siehe S. 253). Im Sinne von Bromme et al. (2008, S. 432) lässt das auf das Vorhandensein von eher angemessenen epistemischen Überzeugungen schließen, da sie die flexible Bildung kontextabhängiger epistemischer Urteile zulassen.

Bezüglich der Auswirkungen der Intervention auf das Wissenschaftsverständnis kann ausgehend vom Hintergrund der Theorie der Generativen Natur epistemischer Urteile und den in den Fragebogenerhebungen und den Leitfadeninterviews gewonnenen Daten davon ausgegangen werden, dass die festgestellten Veränderungen des Wissenschaftsverständnisses bei den Nichtphysikern aufgrund mangelnden Wissens über andere Bereiche und Teildisziplinen der Physik einen stark kontextspezifischen Charakter haben. Dagegen ist anzunehmen, dass sich die Intervention auf das Wissenschaftsverständnis der Physikstudierenden aufgrund ihres größeren Fachwissens über den Kontext der Intervention hinaus und deshalb auch gleichzeitig längerfristig auswirkt. Die Frage nach der längerfristigen Wirkung einer Intervention bei Lernenden mit und ohne Fachwissen, wie sie im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde, wäre die fruchtbare Grundlage zukünftiger Forschungsprojekte, um genauere Aussagen über die mittel- und langfristige Wirkung der Intervention einerseits und die Rolle der verschiedenen kognitiven Elemente bei der Beurteilung von Wissen andererseits tätigen zu können.

#### *Learning by Design im Hochschulseminar*

Ausgehend vom Verlauf beider Interventionsmaßnahmen in beiden Hochschulseminaren und den jeweils erstellten Artefakten in Form von hypertextbasierten Medienprodukten, lässt sich feststellen, dass sich der Kontext einer Hochschulveranstaltung dazu eignet, dass Studierende im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes für das Wissenschaftsverständnis förderliches Wissen erwerben und darüber hinaus ihr Wissenschaftsverständnis dabei reflektieren und verändern.

Beim Einsatz der in Kapitel 10.2.3 beschriebenen Technik und Software ergaben sich keine technischen Probleme. Die Einführung und Handhabung der Technik und Software für die Medienproduktion verlief im Vorfeld der eigentlichen Intervention problemlos. Zur Erstellung der Hypertexte wurde in der Hauptstudie die Software MS PowerPoint genutzt. Dies ist insofern ungewöhnlich, als dass PowerPoint ursprünglich nicht für die Erstellung umfangreicher Hypertexte konzipiert wurde. Trotzdem wurde die Software genutzt, da einerseits die Gestaltung der einzelnen Informationsknoten mit grafischen Gestaltungsmitteln und andererseits die Herausforderungen beim Umgang mit der Technik so niederschwellig wie möglich sein sollten. Der Umgang mit einem Wiki-Editor zur Erstellung eines Hypertexts in der Vorstudie zeigte, dass

die Gestaltungsmöglichkeiten damit begrenzt sind. Eine Gestaltung mit professioneller Software zur Erstellung von Hypertext wäre in einem Seminar zwar grundsätzlich möglich, nur benötigt es eine größere Einarbeitungszeit für die Studierenden, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Der Umgang mit der Technik würde dann einen größeren Stellenwert einnehmen, was die tiefergehende Auseinandersetzung mit den Inhalten verhindern könnte.

In der Einführung von PowerPoint zur Erstellung von Hypertext zeigte sich in beiden Seminaren, dass die Studierenden über grundlegendes Wissen zur Gestaltung von Folien in PowerPoint verfügen. Ergänzend lernten die Studierenden, wie sie mit Hyperlinks Informationsknoten verbinden und wie sie verweissensitive Grafiken erstellen können. Die technischen Bedienkompetenzen, die zur Erstellung der grafischen Benutzeroberflächen und zur Umsetzung der geplanten Metaphern im Hypertext nötig waren, sind im Vergleich zu den geforderten Kompetenzen professioneller Webdesign-Tools gering. Dies führte dazu, dass Studierende während des Produktionsprozesses die gestalterischen Möglichkeiten der Software PowerPoint kreativ nutzten, indem sie beispielsweise ohne die zusätzliche Verwendung von Bildbearbeitungssoftware eigene Zeichnungen (siehe Anhang, S. 342) oder Abbildungen der behandelten Forscher in eigens erstellten Fotografien des Physiklabors hineinmontierten, um die gestalteten Folien in PowerPoint anschließend mit Hyperlinks zu versehen (siehe Anhang, S. 344-346). Darüber hinaus nutzten einzelne Studierende der Medienveranstaltung (Interventionsgruppe B) die gegebenen Mittel von PowerPoint, um Rollover-Effekte bei der Berührung der Maus von verweissensitiven Bildbereichen oder grafischen Elementen zu erzeugen. Durch die Verwendung von PowerPoint war es möglich, dass die Studierenden sich in der Gestaltung der Medienprodukte kreativ und gestalterisch entfalten konnten und gleichzeitig der zeitliche und technische Aufwand für die Vermittlung der nötigen Bedienkompetenzen im Rahmen der Hochschulveranstaltung keinen zu großen Raum einnahm und dadurch die Arbeit an den Inhalten des Medienprodukts nicht in den Hintergrund rückte. Vielmehr konnten sich die Studierenden durch den geringeren Aufwand bei der Einarbeitung in die Software stärker auf die produktive Ausgestaltung der Inhalte für hypertexttypische Gestaltungsmittel fokussieren, wodurch der Wissenserwerb im Sinne des Knowledge Transforming-Prozesses früher in Gang kam.

Ausgehend von den Selbsteinschätzungen zum Kompetenzerwerb durch Learning by Design im Fragebogen und den Äußerungen der befragten Studierenden im Interview, sehen die zukünftigen Lehrkräfte überwiegend positives Potential für den Erwerb unterschiedlicher Kompetenzen im didaktischen Konzept von Learning by Design. Die Anbahnung von Mediennutzungskompetenzen in dem Ansatz wird dabei von den Nichtphysikern höher eingeschätzt, was auch damit zu tun haben kann, dass die Studierenden ohne das Fach Physik die Hochschulveranstaltung des Medieninstituts (Interventionsgruppe B) auch deshalb besucht haben, um Mediennutzungskompetenzen zu erwerben. Bezüglich des Erwerbs von Kompetenzen in der Wissensdomäne wird Learning by Design von allen Studierenden beider Interventionsgruppen gleichermaßen positiv bewertet. So sehen die Studierenden die Vorteile des didaktischen Kon-

zepts beispielsweise darin, dass selbstständiges Lernen und vernetztes Denken ermöglicht werden. Dementsprechend kann sich auch der überwiegende Teil der Studierenden vorstellen, selbst Learning by Design in ihrem zukünftigen Unterricht einzusetzen.

Die gemessenen Veränderungen im Wissenschaftsverständnis konnten wie oben damit erklärt werden, dass die Studierenden sich mit Inhalten auseinandersetzten, das sich auf ihr Wissenschaftsverständnis förderlich auswirkte. Eine Auseinandersetzung mit wissenschaftshistorischen Fallbeispielen, Kontroversen oder den Forscherpersönlichkeiten wird auch aus Sicht der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung als förderlich für das Wissenschaftsverständnis betrachtet (vgl. Kapitel 3.5.3). Es stellt sich die Frage nach der Rolle des didaktischen Ansatzes von Learning by Design bei der Veränderung des Wissenschaftsverständnisses. Die Hauptstudie war zwar nicht dazu angelegt, diese Frage zu beantworten und es wurde nicht untersucht, ob andere didaktische Konzepte oder Methoden des Wissenserwerbs, wie z.B. die Aneignung von vergleichbarem themenspezifischen Wissen durch das ausschließliche Lesen von Texten, zu ähnlichen Veränderungen im Wissenschaftsverständnis führen. Jedoch kann ausgehend von den im Prozess beobachteten Aktivitäten der Studierenden und der Beurteilung der Interventionsmaßnahme durch die Studierenden, abgeleitet werden, dass Learning by Design einen vorteilhaften Rahmen für die Förderung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses bietet.

Zum einen bewirkt Learning by Design, dass eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem für das Wissenschaftsverständnis förderlichen Wissen initiiert wird. Die in Kapitel 5.2 aufgezeigten lernförderlichen Aspekte von Learning by Design und die damit zusammenhängenden geforderten und geförderten Kompetenzen zeigen, dass eine Auseinandersetzung mit den zu bearbeitenden Inhalten weit über das reine rezipieren hinausgeht. So beinhalten die verschiedenen Phasen des Gestaltungs- und Produktionsprozesses neben der Informationssuche sowie der Analyse und Interpretation von Informationen darüber hinaus kollaborative Aktivitäten, in denen sich die Lernenden über die zu bearbeitenden Inhalte austauschen, diese bewerten und in Bezug auf das zu erstellende Medienprodukt strukturieren, was beispielsweise zu Gruppendiskussionen über die Inhalte führt (vgl. Liu, 2003). Durch die fünf Phasen von Learning by Design nach Stahl (2010) wird eine solche vertiefte Auseinandersetzung mit den relevanten Inhalten gezielt angeregt. In jeder Phase werden, wie im COPES-Modell (vgl. Kapitel 5.3) beschrieben, Prozesse der Aufgabeninterpretation, Zielfindung, Planung, Ausführung und Adaption vollzogen (vgl. Stahl, 2009, S. 248) und dadurch Prozesse des Knowledge-Transformings gefördert, in denen durch die Interaktion von Sach- und Designwissen eine vertiefte Bearbeitung der Inhalte erfolgt, was anhand von Beispielen aus den beiden Interventionsgruppen nachfolgend verdeutlicht wird.

Nach der Einstiegsphase, in der grundlegende Informationen zum Thema und dem Ziel der Medienproduktion bekannt gegeben wurden, war in beiden Interventionsgruppen zu beobachten, wie die Studierenden sich sowohl in Kleingruppen von je vier bis sechs Studierenden als auch im Plenum schon in der ersten Phase von Learning by Design bezüglich der Inhalte des

zu erstellenden Medienprodukts intensiv austauschten, indem sie die Grundkonzeption des Medienprodukts planten. So zeigt beispielsweise, dass in der Ideensammlung (vgl. Kapitel 10.3.1.1) der ersten Phase von Learning by Design in Interventionsgruppe A schon früh Bezüge zwischen der Gestaltung des zu erstellenden Medienprodukts und den Modellvorstellungen von Licht hergestellt wurden. Ein entsprechend realisiertes Ergebnis dieser ersten Phase ist die Startseite des Hypertexts, das ein von Studierenden gezeichnetes und eingescanntes Bild eines Strands mit Huygens, Newton und Einstein in Strandstühlen auf dem Sand (*Teilchen*) vor dem Meer mit *Wellen* zeigt, dessen einzelne Bildteile als verweissensitive Ausgangspunkte für die Verknüpfungen zu den Biographien der Forscher oder den Erläuterungen der verschiedenen Theorien von Licht führt (siehe Anhang, Seite 342). Auch in der Phase der Erstellung der einzelnen Informationseinheiten (Phase 2) arbeiteten die Studierenden arbeitsteilig in Gruppen, in denen sie Inhalte und Gestaltung ihres Teilthemas gemeinsam diskutierten sowie reflektierten und sich dabei über die Informationen aus den zur Verfügung gestellten Texten zum Thema (vgl. Anhang, S. 335) austauschten. Der Austausch über die einzelnen Teilgruppen hinweg erfolgte in Phase 3 und 4, in der sich die Studierenden zunächst gegenseitig die Inhalte ihrer erstellten Informationseinheiten anhand von Ausdrucken präsentierten, die inhaltlichen Bezüge zwischen den Knoten besprachen und mit Hilfe von Wollfäden die Verknüpfungen zwischen den Knoten planten (vgl. Abbildung 10.4, Seite 206). In Phase 4 tauschten sich die Studierenden darüber aus, wie sie die Kontroverse noch besser herausarbeiten können und nahmen entsprechende kleinere Veränderungen an einzelnen Knoten und Ergänzungen bei den Verknüpfungen vor. Auch das bewusste Setzen von Hyperlinks erfolgte dann in einem kollaborativen Prozess, in dem auch immer wieder in Ansprache zwischen den Mitgliedern der jeweiligen Interventionsgruppe inhaltlich bedingte Revisionen an den Knoten vorgenommen wurden.

Die durch das Konzept von Learning by Design aufgezeigten initiierten Aktivitäten nutzen, wie schon oben benannt, einer vertieften Auseinandersetzung mit den für das Wissenschaftsverständnis förderlichen Inhalten. Darüber hinaus werden Lernkontexte, die solche Aktivitäten initiieren, im Forschungsfeld der persönlichen Epistemologie als förderlich für das Wissenschaftsverständnis angesehen (vgl. Kapitel 2.5.3). So zeigen beispielsweise Muis und Duffy (2013), dass Aktivitäten wie die Bearbeitung sowie die kritische Auseinandersetzung und Diskussion der Inhalte in Gruppen im Rahmen konstruktivistisch ausgerichteter Hochschulveranstaltungen förderlicher für das Wissenschaftsverständnis sind, als traditionell ausgerichtete Lehrveranstaltungen (z.B. Muis & Duffy, 2013). In diesem Sinne erfüllt der didaktische Ansatz von Learning by Design auch die Forderungen von Hammer und Elby (2002) nach Lernkontexten, in denen den Lernenden neues Wissen weniger im Rahmen von Vorträgen vermittelt wird. Vielmehr halten sie es für das Wissenschaftsverständnis und für die Aktivierung verschiedener, produktiver epistemischer Ressourcen für sinnvoll, wenn sich Lernende im Rahmen von Gruppendiskussionen oder Gestaltungs- und Konstruktionsaufgaben mit neuem Wissen auseinandersetzen.

Deutlich wurde auch der motivationale Aspekt beim Einsatz von Learning by Design. Die in der Literatur beschriebenen positiven Effekte auf die emotionale Involviertheit, das Engagement und die Motivation der Lernenden im Gestaltungs- und Produktionsprozess (z. B. Carver et al., 1992; Chen & McGrath, 2003; Hakkarainen, 2011) war in beiden Interventionsgruppen sowohl während der Interventionsmaßnahme als auch in den Rückmeldungen festzustellen. So geben die Studierenden als Grund für den möglichen Einsatz von Learning by Design im eigenen zukünftigen Unterricht beispielsweise am häufigsten an, dass die Vorgehensweise motivierend und aktivierend ist. Die Vorteile der Motivation in der medienproduktiven Auseinandersetzung mit den Inhalten wurden besonders bei den Nichtphysikern deutlich. Sie zeigten sich als Lernende, die, wie von Chen und McGrath (2003) in einem medienproduktiven Projekt mit Schülern beschrieben, als enthusiastische und stolze Autoren und Designer eines Medienprodukts während des Prozesses hoch involviert einbrachten. Dies ist umso bemerkenswerter, als dass einige der Nichtphysiker nach der Interventionsmaßnahme ihre eigentliche Abneigung gegenüber der Disziplin Physik bekundeten. Die Studierenden erkennen deshalb auch die Vorteile dieses alternativen Zugangs zu Themen einer für sie ansonsten negativ belegten Disziplin. Es ist eher auszuschließen, dass sich die Nichtphysiker auf andere Weise, beispielsweise durch die Lektüre eines Buchs, genauso intensiv mit den gleichen Inhalten auseinander gesetzt hätten. Insofern lassen die Antworten der Studierenden zur Einschätzung des didaktischen Konzepts von Learning by Design in Fragebogen und Interviews darauf schließen, dass eine fruchtbare, medienproduktive Auseinandersetzung mit (zuvor negativ belegten) Inhalten in einem Learning by Design-Ansatz gelingt, da die Lernenden den Zugang zu Fachinhalten und den Wissenserwerb als überwiegend motivierend, individuell und gewinnbringend erleben.

#### *Methodische Anmerkungen zur Studie*

Die Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in zwei Messzeitpunkten mit dem Fragebogen, der themenspezifische Aufgabenblöcke mit quantitativen und qualitativen enthält, hat sich bewährt, da die Veränderungen auf quantitativer Ebene inferenzstatistisch untersucht und erste Hinweise für die Veränderungen in den qualitativen Daten ermittelt werden konnten. Des Weiteren hat sich bewährt, dass sich im Anschluss an die Zweiterhebung mit dem Fragebogen eine ergänzende qualitative Studie in Form eines Leitfadenterviews angeschlossen hat, da sich durch die zusätzlich gewonnen qualitativen Daten Erklärungen für die im Fragebogen gemessenen ableiten ließen.

Bezüglich der mit dem Fragebogen erhobenen qualitativen Daten hat sich gezeigt, dass die Studierenden im zweiten Messzeitpunkt signifikant weniger geschrieben haben, was auf eine geringere Motivation bei der Darlegung der Begründungen und Argumentationen im zweiten Messzeitpunkt schließen lässt. Für eine geringere Motivation im zweiten Messzeitpunkt spricht auch, dass beispielsweise alle vier interviewten Physikstudierende in der mündlichen Befragung den Zusammenhang zwischen den NOS-Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen auf die Forschung mit Inhalten der Intervention (Popularität Newtons und deren Rolle für den Erfolg seiner Theorie) herstellten, dies aber nicht in den entsprechenden offenen Items des zweiten

Messzeitpunkts taten. Die große zu produzierende Textmenge in einem insgesamt umfangreichen Fragebogen scheint die Bereitschaft zur Textproduktion in der Messwiederholung zu beeinflussen. Durch die Veränderung der Größe der Eingabefelder könnte Einfluss auf die Motivation genommen werden. Alternativ käme in zukünftigen Studien mit einem ähnlichen Design bei Einsatz des selben Instruments eine variierte Erhebung im zweiten Messzeitpunkt in Betracht, bei der beispielsweise die Probanden im zweiten Messzeitpunkt mit ihren eigenen Äußerungen und Argumenten der offenen Items aus der Ersterhebung konfrontiert werden und gemessen wird, welche Ansichten und Argumente der Ersterhebung von den Probanden revidiert bzw. durch weitere Argumente und/oder neues Inhaltswissen ergänzt werden.

## 11. Zusammenfassung und Diskussion

### 11.1 Einschränkungen und methodische Anmerkungen

#### *Einschränkungen der Studien*

Aufgrund der Stichprobengröße in der Hauptstudie ist die Verallgemeinerung der Ergebnisse bezüglich der Wirksamkeit von Learning by Design auf das Wissenschaftsverständnis der Grundgesamtheit an Studierenden nicht zulässig. Die dargestellten Ergebnisse der Interventionsstudie geben Auskunft über die im Kontext der Studie erzielten Veränderungen. Bei der Pilotstudie handelt es sich um eine querschnittliche Erhebung. Insofern lässt sich wenig über die zeitliche Stabilität der gefundenen Zusammenhänge sagen. Auch aufgrund der Durchführung der Erhebungsstudie (Vorstudie) und der Interventionsstudie (Hauptstudie) mit natürlichen Gruppen, ist das Ableiten von Schlussfolgerungen nur bezüglich der an den Studien beteiligten Individuen gestattet. Im Fall der Vorstudie handelte es sich um eine Gelegenheitsstichprobe, im Fall der Hauptstudie um natürliche Gruppen. Beide Stichproben waren demnach nicht randomisiert und erheben dementsprechend nicht den Anspruch auf Repräsentativität.

#### *Zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses*

Das in der Vor- und Hauptstudie eingesetzte Instrument zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses erwies sich als reliabel und ermöglichte die differenzierte Analyse verschiedener Aspekte von Wissenschaftsverständnis. Durch die disziplin- und kontextbezogene Ausrichtung der Aufgaben bzw. Items wurde einerseits gewährleistet, dass epistemische Urteile in unterschiedlichen Kontexten analysiert werden konnten. Andererseits verminderten die thematischen Rahmungen der Aufgaben und Items des Fragebogens die Möglichkeiten der Studienteilnehmenden, eigene Kontexte oder Disziplinen bei der Erhebung epistemischer Urteile zu assoziieren (vgl. Kapitel 2.3). Des Weiteren konnten anhand der offenen Items, in denen die Teilnehmenden ihre Ratings auf Skalenebene begründeten, im Sinne von Bromme et al. (2008) und Stahl (2011) Rückschlüsse auf die kognitiven Elemente gezogen werden, die im Prozess der epistemischen Urteilsbildung aktiviert wurden. Durch diese Art der Erhebung des Wissenschaftsverständnisses können beispielsweise ähnliche, konnotative epistemische Urteile, die von Experten und Laien stammen (vgl. Abbildung 2.3, S. 22), genauer im Hinblick auf ihre denotative Basis analysiert werden. Dabei wurde deutlich, dass sowohl in der Pilotierungsstudie als auch in der Hauptstudie beim Vergleich der quantitativ ermittelten epistemischen Urteile von Laien und Experten keine statistisch relevanten Unterschiede zu finden sind, obwohl das qualitativ erhobene fach- und themenspezifische Wissen mit den dazugehörigen NOS-Ansichten beider Gruppen Unterschiede aufweist. Durch die Analyse der offenen Antworten ergaben sich Erklärungen dafür, auf welche kognitiven Elemente die epistemischen Urteile von Laien und Experten basieren und wie unterschiedliche kognitive Urteile damit begründet werden. Eine vertiefte Analyse der Argumentation in ergänzenden Interviews liefern zusätzliche Hinweise, wie Inhaltswissen und NOS-Ansichten angeführt werden, um disziplinspezifisches und themenspezifisches Wissen in Physik zu beurteilen. Anhand der Ergebnisse der ergänzenden



Interviews konnten in der Hauptstudie die Grundlagen der beobachteten Veränderungen, die mit Hilfe des Fragebogens gemessen wurden, besser erklärt werden.

Besonders die Kombination des CAEB mit weiteren Instrumenten, die weitere Aspekte des Wissenschaftsverständnisses erheben, erwies sich sowohl in der Vor- als auch in der Hauptstudie als ergiebig. Für die Bewertung, ob es sich bei epistemischen Urteilen um eher angemessene oder unangemessene Urteile handelt, bedarf es zum einen an Kenntnissen über die aktivierten Ressourcen bzw. kognitiven Elemente, als auch die Berücksichtigung des Kontextes, in dem die Urteile gebildet werden (vgl. Kapitel 8.2.1). Die Interpretation und Einordnung, der mit dem CAEB erhobenen epistemischen Urteile und Annahmen zur Ontologie, erfordert die Berücksichtigung weiterer kontext- bzw. themenspezifischer Bezugspunkte, welche im Rahmen dieser Arbeit durch qualitative Daten oder den relativen Veränderungen mehrerer Messzeitpunkte gegeben sind.

### 11.2 Ergebnisse aus Vor- und Hauptstudie aus Perspektive des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile

Epistemische Urteile zeigen sich in der Pilotierungs- und Hauptstudie zum einen abhängig davon, in welcher Disziplin die Studienteilnehmenden Wissen oder Aussagen beurteilen. Das Wissen in den Disziplinen Physik und Erziehungswissenschaft/Pädagogik wird beispielsweise bezüglich Genauigkeit, Objektivität oder Dynamik unterschiedlich beurteilt. Diese disziplinspezifische Bildung epistemischer Urteile wurde erwartet und stützt die Ergebnisse anderer Studien und die Annahmen verschiedener Konzeptionen, die von einer Domänen- bzw. Disziplinabhängigkeit der epistemischen Kognition ausgehen (z. B. Buehl & Alexander, 2006; Hofer, 2000). Im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile (Bromme et al., 2008; Stahl, 2011) wird darüber hinaus davon ausgegangen, dass epistemische Urteile nicht nur disziplinabhängig sind, sondern durch die flexible Aktivierung verschiedener kognitiver Elemente disziplin-, kontext- und themenspezifisch gebildet werden. Diese Annahme konnte in der Vor- und Hauptstudie gestützt werden. So fallen in beiden Studien die epistemischen Urteile zum disziplinspezifischen Wissen in Physik anders aus als zum themenspezifischen Wissen über die Struktur von Atomen. Die Studienteilnehmenden beider Studien halten das Wissen über die Struktur von Atomen im Vergleich zum disziplinspezifischen Wissen in Physik beispielsweise für ungenauer, subjektiver, unbeweisbarer und diffuser.

In der Vorstudie und Hauptstudie zeigten sich auf Skalenebene bei multivariaten Vergleichen des Wissenschaftsverständnisses keine Unterschiede zwischen Studienteilnehmenden mit und ohne fach- und themenspezifischem Wissen in Physik. Auf der Ebene der qualitativen Daten waren jedoch Unterschiede festzustellen. Es wurde deutlich, dass Physiker über mehr Wissen verfügen und eher angemessene Ansichten zur Wissensgenese in Physik, wie z.B. zur Rolle von Beobachtung und Schlussfolgerung sowie zur Modellbildung, zeigen.

Differenzen im Wissenschaftsverständnis zwischen den Teilnehmenden der Vor- und Hauptstudie, sowie die unterschiedlichen Veränderungen des Wissenschaftsverständnisses bei Physikstudierenden und Nichtphysikern in der Hauptstudie konnten durch Differenzen bezüglich des zur Verfügung stehenden fach- und themenspezifischen Wissens bzw. durch den Wissenserwerb bestimmten Inhaltswissens und den dazugehörigen NOS-Aspekten erklärt werden. Die Ergebnisse der Hauptstudie zeigen, dass durch den Erwerb von Fachwissen und Wissen bezüglich der Wissensgenerierung, Modellbildung und Entstehung sowie Veränderbarkeit von Theorien eine kurzfristige Veränderung der epistemischen Urteile von Lernenden erreicht werden kann.

Im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile wird davon ausgegangen, dass ein Individuum über ein Mindestmaß an Wissen zu den Forschungsmethoden der zugrunde liegenden Disziplin und die Art und Weise der Wissensgenerierung, -rechtfertigung und -verbreitung verfügen sollte, um die Verlässlichkeit und Sicherheit von Aussagen und Wissensbeständen angemessen beurteilen zu können (vgl. Kapitel 4.2). Ausgehend von diesen Überlegungen leitet sich die Heuristik (vgl. S. 75) ab, in der davon ausgegangen wird, dass fach- und themenspezifisches Wissen zusammen mit den dazugehörigen Ansichten zur Natur der Naturwissenschaften kognitive Elemente sind, die bei der epistemischen Beurteilung von Wissen in physikspezifischen Kontexten aktiviert werden können. Fach- und themenspezifisches Wissen und NOS-Ansichten wurden in Vor- und Hauptstudie erhoben, indem die Studienteilnehmenden aufgefordert wurden, Begründungen für ihre Ratings zu elaborieren. Es zeigten sich in der Vorstudie zwischen den epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen und den in diesem Zusammenhang geäußerten NOS-Ansichten Korrelationen (vgl. Kapitel 9.3.2.4). Die geringe Effektstärke der Korrelationen von NOS-Ansichten und epistemischen Urteilen konnte in der Vorstudie aufgrund der Analyse der Antworten so erklärt werden, dass Individuen ähnliche kognitive Elemente bei der Beurteilung der Gültigkeit und „Wahrhaftigkeit“ von Wissen unterschiedlich gewichten oder verschieden zueinander und im Hinblick auf ihr Urteil in Beziehung setzen. So zeigte die Analyse der offenen Antworten im Abgleich mit den Skalenwerten der epistemischen Urteile, dass beispielsweise ein Experte, der viel über die Prozesse und Hintergründe der Theoriebildung zum Wissen über die Struktur von Atomen oder der Natur von Licht weiß, dieses Wissen als recht sicher sowie fortgeschritten im Vergleich zum Wissen zu Beginn des 19. Jahrhunderts einschätzt und dann im epistemischen Urteil einen entsprechend geringen Skalenwert zeigt. Ein anderer Experte kommt jedoch auf Basis eines ähnlichen fach- und themenbezogenen Wissens und ähnlichen NOS-Ansichten zu dem Schluss, dass sich alles Wissen grundsätzlich jederzeit verändern könne und entsprechend Wissen über Atome grundsätzlich vorläufig sei, was sich in einem hohen Skalenwert ausdrückt. Die aktivierten kognitiven Elemente der beiden Experten können wie im beschriebenen Fall ähnlich sein und die Argumentation und deren Gewichtung bezüglich des Urteils unterschiedlich, was sich in unterschiedlichen Urteilen ausdrückt. Umgekehrt existieren auch Fälle, in denen Studienteilnehmende

durchaus einen hohen Skalenwert bei der Beurteilung von Wissen über die Struktur von Atomen zeigen, sie das Wissen über die Struktur von Atomen also als eher ungenau, subjektiv, unbeweisbar und diffus beurteilen, dieses Urteil jedoch nicht begründen können, da sie über kein fach- und themenspezifisches Wissen verfügen. Ein Individuum dagegen, das Kenntnisse darüber hat, wie Wissen in einer Disziplin generiert, verbreitet und angewandt wird, da ihm beispielsweise das Prinzip der kognitiven Arbeitsteilung (vgl. Kapitel 2.2.1) bekannt ist, kann die Gültigkeit und Veränderlichkeit dieses Wissens eher angemessen beurteilen, da es im Prozess der Urteilsbildung entsprechende kognitive Elemente aktiviert. Die Analyse der offenen Antworten im Vergleich zu den epistemischen Urteilen zeigt also, dass Studienteilnehmende zum Teil fach- und themenbezogenes Wissen und dazugehörige NOS-Ansichten aktivieren, um ihre Urteile zu begründen, andere Teilnehmenden dagegen angeben, keine Angaben machen zu können. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Bildung epistemischer Urteile einerseits von der Disziplin, dem Kontext oder dem Thema abhängt und andererseits von den kognitiven Elementen, die den Individuen zur Beurteilung des Wissens jeweils zur Verfügung stehen. Des Weiteren spielt bei der Begründung der epistemischen Urteile eine Rolle, wie die aktivierten Elemente in Bezug zu den epistemischen Urteilen gesetzt werden.

Wie gerade Rückmeldungen zur Befragung in der Vorstudie zeigten, hatten Laien mit wenig fach- und themenspezifischem Wissen keine größeren Probleme, epistemische Urteile über das Wissen in Physik und Wissen über die Struktur von Atomen zu bilden. Probleme bereiteten ihnen dagegen in den offenen Items die Darlegung von Fach- und Themenwissen sowie den dazugehörigen NOS-Ansichten zur Begründung. Offensichtlich kann ein Laie scheinbar problemlos die Sicherheit, „Wahrhaftigkeit“ oder Gültigkeit von disziplinspezifischem Wissen in Form eines Ratings beurteilen, ohne zwangsläufig über Wissen bezüglich der Erkenntnisprozesse, der Rolle von Kreativität und Subjektivität oder Wissen über die Ontologie des Wissenschaftszweigs zu verfügen. Ausgehend von dem heuristischen Modell, das der Konzeptualisierung und Operationalisierung von Wissenschaftsverständnis in dieser Arbeit zugrunde liegt, kann dies so erklärt werden, dass Individuen, die über wenig oder kein disziplin- oder themenspezifisches Inhaltswissen verfügen, problemlos zu einem epistemischen Urteil kommen, indem sie auf stabilere und disziplinunabhängige epistemische Überzeugungen zurückgreifen, die sich beispielsweise im Laufe ihrer Schulzeit entwickelt haben (vgl. Abbildung 2.3, S. 22).

Wenn also Laien bezüglich des Wissens einer Disziplin, wie der Physik oder einem ihrer Teilbereiche, zu dem Urteil kommen, dieses Wissen sei beispielsweise unveränderlich, objektiv und sicher, und dabei nur geringes bzw. kein fachbezogenes und themenbezogenes Wissen für die Begründung dieses Urteils anführen können, dann eröffnet sich hier möglicherweise der unverstellte Blick auf ihre stabileren epistemischen Überzeugungen. Letztendlich kann dies aber nicht ausschließlich aufgrund von Daten einer Fragebogenerhebung geschlossen werden, da die Befragten möglicherweise doch über Wissen verfügen, dies aber aus Motivationsgründen nicht darlegen oder ihr Halbwissen nicht ausführen wollen. Um auf stabilere epistemische

Überzeugungen bei der Bildung epistemischer Urteile schließen zu können, bedarf es weiterer Informationen, die in der Hauptstudie mit Hilfe von ergänzenden Interviews gewonnen wurden.

Auch in der Erhebung und Interpretation der Daten der Hauptstudie werden Disziplin, Kontext und Thema berücksichtigt, um die Auswirkungen der Intervention auf das Wissenschaftsverständnis besser verstehen zu können

Wie in der Vorstudie zeigen die Ergebnisse der Hauptstudie, dass disziplin- und themenspezifisches Wissen, wie z. B. Wissen über Methoden, Wissenschaftsgeschichte, Rolle der Subjektivität sowie der Vorläufigkeit von Theorien, sich auf die Beurteilung von Wissen in physikspezifischen Kontexten auswirkt. Durch den Erwerb von thematischem Wissen im Rahmen der Intervention veränderten sich innerhalb eines kurzen Zeitraums die epistemischen Urteile zu Wissen in Physik von Studierenden in zwei Hochschulveranstaltungen. Die in der Hauptstudie dieser Arbeit festgestellten Veränderungen der epistemischen Urteile der Studierenden lassen sich aus dem Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile heraus mit dem Wissenserwerb durch die Medienproduktion erklären. Durch den Erwerb von themenspezifischem Wissen im Rahmen der Interventionsmaßnahme konnten die Studierenden in der Zweiterhebung und den ergänzenden Interviews dieses Wissen aktivieren, um die Sicherheit und Veränderlichkeit von physikalischem Wissen im Allgemeinen und Wissen über die Natur des Lichts zu beurteilen.

Im Unterschied zur Vorstudie bestand in der Hauptstudie die Möglichkeit, im Rahmen des Leitfadeninterviews genauer nachzufragen, um beispielsweise gezielt bezüglich themenspezifischem oder disziplinspezifischem Wissen und der angeführten Argumentation Einblick in die epistemische Beurteilung von Wissen zu erhalten. Dabei zeigte sich, wie im Diskussionsteil der Hauptstudie (Kapitel 10.5) dargelegt, dass Laien ihr Wissenschaftsverständnis eher kontextbezogen mit Bezug auf die Inhalte der Interventionsmaßnahme veränderten, wohingegen bei den Physikstudierenden Veränderungen des Wissenschaftsverständnisses festzustellen waren, die über den Kontext und das Thema der Interventionsmaßnahme hinaus gingen. Zum einen konnte diese Beobachtung mit der Rolle des Fachwissens der Physikstudierenden erklärt werden. Zum anderen können die Unterschiede in der Argumentation auch damit erklärt werden, dass die Nichtphysiker auf epistemische Überzeugungen aus ihrer Schulzeit zurückgreifen, die sich von den epistemischen Überzeugungen der Physikstudierenden unterscheiden, die sich im Laufe des Studiums in Interaktion mit erworbenem Fachwissen und den entsprechenden NOS-Ansichten entwickelt haben. Die genauere Analyse der qualitativen Daten unter Berücksichtigung der Disziplin und des Kontextes, wie es vielfach bezüglich der methodischen Vorgehensweise bei Erhebung und Interpretation von Daten der epistemischen Kognition gefordert wird (z. B. Bromme et al., 2008; Buehl, 2008; Elby & Hammer, 2001; Pintrich, 2002; Stahl, 2011), erlauben in der Hauptstudie Aussagen über die kognitiven Prozesse bei der Beurteilung von fach- und themenspezifischem Wissen, die ausschließlich durch die Erhebung quantitativer Daten nicht und alleine mit dem Fragebogen nur in Teilen möglich gewesen wären.

Aus den Beobachtungen der Vorstudie und der Hauptstudie zum Verhältnis zwischen fach- und themenbezogenem Wissen und den dazugehörigen NOS-Ansichten sowie den Beobachtungen der Hauptstudie bezüglich der Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch den Erwerb von themenbezogenem Wissen und den entsprechenden NOS-Ansichten, lassen sich Schlüsse für die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses in der Physik bzw. den naturwissenschaftlichen Fächern im Allgemeinen ziehen. Es scheint plausibel, dass Veränderungen der NOS-Ansichten, die in der Naturwissenschaftsdidaktik mit Mechanismen des Conceptual Change-Ansatzes erklärt werden (vgl. Kapitel 3.4), sich langfristig auch auf die stabileren epistemischen Überzeugungen auswirken. Indem beispielsweise Misskonzepte zur Rolle von Vorstellungskraft und Kreativität oder zur Vorläufigkeit von Theorien mit Hilfe von wissenschaftsgeschichtlichen Inhalten und entsprechenden Reflexionen begegnet und dadurch ein Konzeptwechsel im Hinblick auf die NOS-Ansichten erreicht wird, erwerben die Lernenden kognitive Elemente, die für die angemessene epistemische Beurteilung von Wissen in naturwissenschaftlichen Kontexten hilfreich sind. Des Weiteren kann solches Inhaltswissen, wenn es zu unterschiedlichen Themen und Kontexten in verschiedenen Disziplinen erworben wird und Lernende immer wieder Aussagen und Wissensbestände bezüglich ihrer Sicherheit, Gültigkeit und Veränderlichkeit beurteilen müssen, zur Entwicklung epistemischer Überzeugungen beitragen, die kontextspezifisch und flexibel aktiviert werden können (vgl. Stahl, 2011).

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit ergibt sich für die zukünftige Forschung die Frage, wie bei der epistemischen Beurteilung von naturwissenschaftlichem Wissen stabilere und disziplinunabhängige epistemische Überzeugungen mit Inhaltswissen sowie den dazugehörigen NOS-Ansichten interagieren und ob bestimmte kognitive Elemente die epistemische Urteilsbildung mehr oder weniger beeinflussen. Dieser Frage könnte beispielsweise in einem experimentellen Forschungsdesign nachgegangen werden, in dem Laien mit wenig disziplinspezifischem Wissen in einer Versuchsgruppe naturwissenschaftliches Inhaltswissen mit dazugehörigen NOS-Aspekten und in einer Kontrollgruppe das gleiche Inhaltswissen ohne die dazugehörigen NOS-Aspekte vermittelt wird, um die Auswirkungen auf die Bildung epistemischer Urteile zu untersuchen. Eine weitere mögliche Fragestellung bezieht sich auf die mittel- und langfristige Auswirkung des Erwerbs von für das Wissenschaftsverständnis förderlichem fach- und themenspezifischem Wissen auf das Wissenschaftsverständnis im Allgemeinen und im speziellen auf die Entwicklung und Herausbildung stabilerer epistemischer Überzeugungen. Ausgehend von der Annahme im Ansatz der Generativen Natur epistemischer Urteile, dass die verschiedenen kognitiven Elemente bei der Urteilsbildung miteinander interagieren, sich gegenseitig beeinflussen und dadurch langfristig die Entwicklung angemessener und flexibler epistemischer Überzeugungen ermöglicht wird (siehe Kapitel 2.4), wären die langfristigen Auswirkungen des Erwerbs von förderlichem Wissen sowie die wiederholte Bildung epistemischer Urteile auf das Wissenschaftsverständnis genauer zu untersuchen.

### 11.3 Veränderung des Wissenschaftsverständnisses im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes

Aufgrund des Erwerbs von disziplin- und themenspezifischem Inhaltswissen im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes ergaben sich in der Hauptstudie Veränderungen im Wissenschaftsverständnis der teilnehmenden Lehramtsstudierenden. Vorteile des Learning by Design-Ansatzes bezüglich der Veränderung des Wissenschaftsverständnisses liegen darin, dass im Gestaltungs- und Produktionsprozess lernförderliche Aktivitäten initiiert werden, durch die der/die Lehrende sich auf die Begleitung des Wissenserwerbs konzentrieren und sich mit dem eigenen Wissenschaftsverständnis zurücknehmen kann. So wird auch die Möglichkeit vermindert, dass die Lehrkraft, die häufig von den Lernenden als epistemische Autorität angesehen wird (vgl. Bendixen & Feucht, 2010), den Lernenden unbewusst das eigene Wissenschaftsverständnis vermittelt. Eine Hochschulveranstaltung auf Basis des Learning by Design-Ansatzes bietet unter Berücksichtigung bestimmter Inhalte einen Rahmen, der für die Entwicklung und Förderung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses aus lernpsychologischer und naturwissenschaftsdidaktischer Sicht dienlich sind (vgl. Kapitel 2.5.3 und 3.5.3). Durch Learning by Design wird ein Prozess des knowledge-transformings (vgl. Bereiter & Scardamalia, 1987; Stahl, 2010) initiiert, in dem die Lernenden sich teils kollaborativ, teils selbstregulativ mit für das Wissenschaftsverständnis förderlichen Inhalten auseinandersetzen. Insofern handelt es sich bei Learning by Design um ein didaktisches Konzept, das im Sinne von Hammer und Elby (2002) einen für das Wissenschaftsverständnis förderlichen Lernkontext bietet (vgl. Kapitel 2.5.3). Vielmehr erfolgt eine konstruktiv-produktive Auseinandersetzung mit für das Wissenschaftsverständnis förderlichem Wissen in einem Rahmen, in dem gemeinsamer Austausch und Diskussionen mit der Gestaltung des Medienprodukts einhergehen.

Die Inhalte, mit denen sich die Studierenden im Rahmen des Learning by Design-Ansatzes in der Hauptstudie auseinandersetzten, zeigen auf, wie das heutige Wissen über die Natur des Lichts entstand und wie dabei unterschiedliche theoretische Positionen und ihre Vertreter mit ihren unterschiedlichen Forscherpersönlichkeiten und kreativen Herangehensweisen zur Theoriebildung beitrugen. Wenn sich Lernende medienproduktiv mit diesem Thema auseinandersetzen, setzen sie sich konstruktiv mit Wissen auseinander, das für die Bildung angemessener epistemischer Urteile förderlich ist.

Es stellt sich zum einen die Frage, warum etwa nur die Hälfte aller Studierenden in den offenen Antwortformaten des Fragebogens in ihren Begründungen Bezüge zu den Inhalten der Interventionsmaßnahme herstellten und zum anderen, warum die Studierenden in der Hauptstudie in den offenen Antwortformaten des Fragebogens vor allem Bezüge zum NOS-Aspekt der Vorläufigkeit von Theorien von sich aus herstellten und andere NOS-Aspekte dagegen nicht eigenaktiv in Bezug zu den Inhalten der Intervention brachten. Aspekte wie z.B. die Rolle des Modellierens, Kreativität oder soziokulturelle Einflüsse in den Naturwissenschaften wurden von den Studierenden im Fragebogen vergleichsweise wenig oder gar nicht explizit in Bezug zum Thema der Intervention gebracht. Auch auf die Parallelen zur im Fragebogen enthaltenen

exemplarischen Kontroverse „Entstehung des Universums“ wurde von den Studierenden nicht explizit im Zusammenhang mit den Inhalten der Intervention eingegangen. Andererseits stellten die Studierenden, wie im Diskussionsteil der Hauptstudie dargestellt, in den ergänzenden Interviews auf Nachfrage Bezüge zu diesen NOS-Aspekten her. Es bestehen verschiedene Erklärungsmöglichkeiten bei der Beantwortung dieser Frage. Die verschiedenen Erklärungen beziehen sich auf die Methodik der Erhebung des Wissenschaftsverständnisses, der Aufgabenstellung der Intervention und der Notwendigkeit, den Studierenden weitere Unterstützung bei der Herstellung der Bezüge zwischen Inhalten der Intervention und NOS-Aspekten anzubieten.

- *Methodik bei der Erhebung des Wissenschaftsverständnisses:*

Da die Studierenden wiederholt einen umfangreichen Fragebogen mit offenen Items ausfüllten, kann wie im Diskussionsteil der Hauptstudie erwähnt von einem Ermüdungseffekt ausgegangen werden, der sich beispielsweise darin ausdrückt, dass im zweiten Messzeitpunkt signifikant weniger geschrieben wurde. Die Studierenden könnten bei der Beantwortung der Fragen aufgrund des Ermüdungseffekts nur auf diejenigen Zusammenhänge zwischen den für sie hervorstechenden NOS-Aspekten und den Inhalten der Intervention eingegangen sein, die für sie die größte Bedeutsamkeit hatten.

- *Form der Aufgabenstellung:*

Durch die Aufgabenstellung zu Beginn der Learning by Design-Phase (siehe dazu Kapitel 10.2.3) wurde implizit die Aufmerksamkeit der Studierenden vor allem auf den Aspekt der Veränderlichkeit und Vorläufigkeit von Theorien gelenkt. Indem die Studierenden aufgefordert wurden, ein Medienprodukt zu erstellen, das aufzeigt, wie sich die Theorie zur Natur des Lichts über die Jahrhunderte veränderte, wurde dieser NOS-Aspekt implizit hervorgehoben. Dass sich vor allem die epistemischen Urteile zum Wissen in Physik am stärksten in der Dimension Variabilität veränderten, stützt diese Interpretation.

- *Studierende benötigen weitere Unterstützung und Impulse:*

Im Medienprodukt der Hauptstudie wurden nur sehr gering NOS-Aspekte sichtbar, wenn die Studierenden biographische Aspekte der Forscher bearbeiteten (vgl. Kapitel 10.3.1.2). Durch eine Instruktion in der Aufgabenstellung zu Beginn des Medienproduktionsprozesses, in der die Studierenden aufgefordert werden, beispielsweise noch stärker die biographischen Stationen der Forscher in Bezug zu deren methodischer Vorgehensweise oder ihres Erfolges mit ihrer Theorie zu setzen, könnten zielführende Impulse gegeben werden, um die Auseinandersetzung mit NOS-Ansichten zur Subjektivität oder Kreativität & Vorstellungskraft zu fördern.

Dass die Studierenden angemessene NOS-Ansichten nach der Intervention äußern und dabei mit Inhalten aus der Medienproduktion argumentieren, zeigen die Interviews im Anschluss an die Fragebogenerhebung. Dies kann als Hinweis dafür gewertet werden, dass die Studierenden weitere Impulse benötigen, um die Inhalte der Intervention in Bezug zu NOS-Aspekten, wie z.B. der Rolle von Kreativität & Vorstellungskraft und soziokultureller Einflüsse herzustellen.

Die beiden letzten Erklärungsmöglichkeiten bieten auch Ansätze dafür, wie eine Auseinandersetzung mit weiteren bzw. anderen NOS-Aspekten durch Learning by Design verstärkt initiiert und gefördert sowie vertieft werden kann, worauf im Folgenden eingegangen wird.

Der didaktische Ansatz von Learning by Design stellt einen modifizierbaren Rahmen dar, in dem Wissenserwerb initiiert wird. Je nach Ausgestaltung der Aufgabenstellung kann der Fokus auf unterschiedliche (NOS-)Aspekte gelenkt werden. Wenn beispielsweise als Aufgabe für die Medienproduktion das Ziel benannt wird, einen Hypertext zu erstellen, der vornehmlich die kreativen Anteile bestimmter Forscherpersönlichkeiten oder deren methodische Herangehensweise herausstellt, dann findet nach Mayer (2004) eine Fokussierung auf bestimmte lernförderliche Inhalte statt, um zu gewährleisten, dass die Lernenden sich mit für den Wissenserwerb relevanten Inhalten auseinandersetzen. Insofern erscheint gerade beim intendierten Ziel einer Veränderung des Wissenschaftsverständnisses im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes eine intensive Analyse der Aufgabenstellung durch die initiiierende Lehrkraft als besonders sinnvoll, da durch die anfängliche Rahmung in Form der Aufgabenstellung bestimmte NOS-Aspekte mehr oder weniger in den Fokus der Lernenden geraten.

Ausgehend von den Ansätzen zur Förderung angemessener NOS-Ansichten, wie sie in Kapitel 3.5.3 dargelegt sind, ergibt sich auch die Überlegung, im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes die explizite Auseinandersetzung mit NOS-Aspekten zu integrieren. So könnten im Rahmen der Medienproduktion auf verschiedene Arten NOS-Aspekte explizit in Bezug zu den Inhalten des Medienprodukts gesetzt werden. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, indem entweder vor der Medienproduktion die NOS-Aspekte explizit benannt werden und die Lernenden diese Aspekte in das Medienprodukt einarbeiten und beispielsweise mit den wissenschaftshistorischen Inhalten sukzessive verknüpfen. Ebenso besteht die Möglichkeit, die NOS-Aspekte beispielsweise vor oder während der dritten Phase des Learning by Design-Prozesses in einer Instruktionsphase vorzustellen, um sie bei der Herausarbeitung der Gesamtstruktur einzuarbeiten. Oder verschiedene Aspekte der Nature of Science, wie z. B. die Rolle von Kreativität & Vorstellungskraft oder Zusammenhänge von Beobachtungen, Schlussfolgerungen und Denkmodellen, werden nach Abschluss der Medienproduktion den Lernenden vorgestellt und die Lernenden reflektieren das fertig gestellte Medienprodukt auf Basis der eingeführten NOS-Aspekte. Bei geeigneten Medienformaten, wie z. B. Hypertexten, erscheint eine Ergänzung des Medienprodukts durch die explizite Darstellung verschiedener NOS-Aspekte als sinnvolle Erweiterung, indem beispielsweise in einem separaten Knoten NOS-Aspekte aufgeführt werden, um sie mit entsprechenden Inhalten des Medienprodukts zu verknüpfen. So könnte ein komplettes Hochschulseminar in der Lehrerbildung gestaltet werden, dass ein Medienprodukt in einem Learning by Design-Ansatz, wie in dieser Arbeit dargestellt, entsteht und davor, während und/oder danach eine vertiefte Behandlung von NOS-Aspekten unter Bezugnahme zum Medienprodukt erfolgt. Die vorgeschlagenen Ergänzungen des Wissenserwerbs durch Medienproduktion mit der expliziten Benennung und Bearbeitung der NOS-Aspekte entspräche aus Sicht der Naturwissenschaftsdidaktik einer Vorgehensweise der expliziten Vermittlung von NOS-



Aspekten (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002) in einem integrierten Ansatz (vgl. Khishfe & Lederman, 2007).

Bezüglich der Professionalisierung zukünftiger Lehrkräfte in naturwissenschaftlichen Disziplinen erscheint der Einsatz von Learning by Design in der Lehrerbildung im Hinblick auf die Reflexion und der Veränderung des Wissenschaftsverständnisses der Lehramtsstudierenden sinnvoll. Darüber hinaus lernen die Lehramtsstudierenden einen exemplarischen, didaktischen Ansatz kennen, wie sie die Behandlung der Nature of Science in ihrem zukünftigen Unterricht realisieren können (vgl. Kapitel 3.5.3). Abd-El-Khalick (2013) hält für die Professionalität von Lehrkräften in der naturwissenschaftlichen Domäne nicht nur ein Verständnis der Nature of Science für nötig, sondern er sieht auch die Notwendigkeit für ein Verständnis naturwissenschaftlicher Inhalte, deren historischer Aspekte und der inhaltlichen Situiertheit der dazugehörigen NOS-Aspekte sowie ein pädagogisch-didaktisches Verständnis für die Gestaltung von Lernprozessen. In diesem Sinne kann die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses innerhalb des Learning by Design-Ansatzes aus physikdidaktischer Perspektive und aus Perspektive der Lehrerbildung als eine mögliche Maßnahme zu einer nachhaltigen Professionalisierung von Lehrkräften angesehen werden.

#### 11.4 Learning by Design als Beispiel für Integration von Medienbildung in den Fachunterricht

Learning by Design in der Lehrerbildung kann nicht nur als Beispiel für eine mögliche Integration der Auseinandersetzung mit NOS-Aspekten in Lernkontexten fungieren. Darüber hinaus zeigt der Einsatz von Learning by Design nach Stahl (2009; 2010) in Hochschulveranstaltungen der Lehrerbildung auch exemplarisch auf, wie digitale Medien zum Wissenserwerb in den Fachunterricht integriert werden können. Durch den Einsatz von Learning by Design in der Lehrerbildung übernehmen die Studierenden die Perspektive der Lernenden und erhalten Einblicke, wie Wissenserwerb durch Medienproduktion ermöglicht wird. Ebenso werden die zukünftigen Lehrkräfte in die Lage versetzt, die Relevanz des didaktischen Konzepts für ihren eigenen zukünftigen Unterricht besser einschätzen zu können. Die Durchführung von Learning by Design in der Lehrerbildung gibt den Studierenden Impulse zur Integration von Medienbildung in ihren (naturwissenschaftlichen) Unterricht.

Die in diesem Projekt realisierte Form des didaktischen Konzepts von Learning by Design stellt eine von vielen Varianten dar, Wissenserwerb durch Medienproduktion auf konstruktive und kollaborative Art zu realisieren. Die Maßnahmen zur Umsetzung des Konzepts und die Wahl des zu erstellenden Medienprodukts lassen dabei vielfältige Formen zu. So kann Learning by Design beispielsweise durch Medienproduktion in einem lokalen Netzwerk oder wie in der qualitativen Vorstudie zur Entwicklungsmaßnahme online (Kapitel 7) durch die Nutzung von Web 2.0-Tools, wie z.B. Wikis, erreicht werden. Ergebnisse des Produktionsprozesses können neben hypermedialen Medienprodukten auch Audio- oder Videoprodukte sein, wie z. B. ebenso der Hypertext der Vorstudie zeigt, in den eigens erstellte Filme integriert

wurden. Unabhängig von dem angestrebten medialen Produkt und der dazu verwendeten Software ermöglicht die Bearbeitung der Inhalte in den unterschiedlichen Phasen des Learning by Design-Konzepts eine intensive Auseinandersetzung mit den Inhalten, die den Einsatz von Learning by Design auch in der Schule nahelegt. So betont auch Stahl (2010, S. 95), dass in dem Ansatz nicht das Ziel eines aufwändig gestalteten Medienprodukts wesentlich ist, sondern dass der Prozess des Wissenserwerbs und das Produkt „Wissen“ zentral sind. Ausgehend davon und dem Primat der Ziele vor den Medien (z. B. Girwidz, 2010a, S. 228) kann der Einsatz von Learning by Design in der Schule vielfach gerechtfertigt werden. Gemäß dem Primat sollten Medien im (Fach-)Unterricht als Hilfsmittel zur Erreichung von Unterrichtszielen zum Einsatz kommen. Das Ziel des Wissenserwerbs und/oder die Anbahnung, Förderung oder Veränderung des Wissenschaftsverständnisses legitimieren den Einsatz von Medien im Rahmen eines Learning by Design-Ansatzes nicht nur im Physikunterricht, sondern darüber hinaus in allen Fächern, in denen zusätzlich zum fachlichen Lernen auch wichtige Fähigkeiten und Kompetenzen (z. B. 21 Century Skills, vgl. Kapitel 5.2) gefördert und vermittelt werden. Insofern ist die Gestaltung von Hochschulveranstaltungen auf der Basis des Learning by Design-Ansatzes im Rahmen der Lehrerbildung sinnvoll, da zukünftige Lehrkräfte so den mediendidaktischen Nutzen produktionsorientierter Medienarbeit aus der Perspektive der Lernenden erfahren und dadurch die Bedeutung und Chancen von Medienbildung für ihren Unterricht besser einschätzen können.

## Literaturverzeichnis

- Abd-El-Khalick, F. & Akerson, V. L. (2004). Learning as Conceptual Change: Factors Mediating the Development of Preservice Elementary Teachers' Views of Nature of Science. *Science Education*, 88 (5), 785–810.
- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*. *International Journal of Science Education*, 22 (7), 665–701.
- Abd-El-Khalick, F. (2005). Developing deeper understandings of nature of science: the impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional planning. *International Journal of Science Education*, 27 (1), 15–42.
- Abd-El-Khalick, F. (2012). Examining the Sources for our Understandings about Science: Enduring conflations and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education*, 34 (3), 353–374.
- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching With and About Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains. *Science & Education*, 22 (9), 2087–2107.
- Alexander, K. (2013). *Kompendium der visuellen Information und Kommunikation* (X.media.press, 2., überarb. u. erw. Aufl. 2013). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Allchin, D., Andersen, H. M. & Nielsen, K. (2014). Complementary Approaches to Teaching Nature of Science: Integrating Student Inquiry, Historical Cases, and Contemporary Cases in Classroom Practice. *Science Education*, 98 (3), 461–486.
- Alters, B. J. (1997). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (1), 39–55.
- Anu, L., Jorma, E. & Sinikka, P. (2013). The case of design-oriented pedagogy: What students' digital video stories say about emerging learning ecosystems. *Education and Information Technologies*, 1-19.
- Baacke, D. (1997). *Medienpädagogik* (Grundlagen der Medienkommunikation, Bd. 1). Tübingen: Niemeyer.
- Baily, C. & Finkelstein, N. D. (2009). Development of quantum perspectives in modern physics. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 5 (1), 010106.
- Baker, J. (2009). *50 Schlüsselideen Physik* (Spektrum Sachbuch, 1. Aufl). Heidelberg, Neckar: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bardy-Durchhalter, M. & Radits, F. (2010). Wissenschaftsverständnis von SchülerInnen. Exploration sozial konstruierter Bilder über die Naturwissenschaft Biologie. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* (9), 39–54.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2013). Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In I. Gogolin (Hrsg.), *Stichwort: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* (SpringerLink : Bücher, S. 277–337). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer VS.
- Baumert, J., Klieme, E. & Bos, W. (2001). Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Die Herausforderung von TIMSS für die Weiterentwicklung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts. In J. Baumert & E. Klieme (Hrsg.), *TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht. Forschungsbefunde, Reforminitiativen, Praxisberichte und Video-Dokumente* (BMBF publik, S. 11–41). Bonn: BMBF.

- Bell, P. & Linn, M. C. (2002). Beliefs About Science: How Does Science Instruction Contribute? In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Hrsg.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (S. 321–346). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Bendixen, L. D. & Feucht, F. C. (2010). Personal epistemology in the classroom: what does research and theory tell us and where do we need to go next? In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Hrsg.), *Personal epistemology in the classroom. Theory, research, and implications for practice. 1. publ* (S. 555–586). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Bendixen, L. D. & Rule, D. C. (2004). An Integrative Approach to Personal Epistemology: A Guiding Model. *Educational Psychologist*, 39 (1), 69–80.
- Bereiter, C. & Scardamalia, M. (1987). *The psychology of written composition*. Hillsdale: L. Erlbaum.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2010). *Biologische Psychologie* (Springer-Lehrbuch, 7., überarbeitete und ergänzte Auflage). Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer.
- Böhringer, J., Bühler, P. & Schlaich, P. (2011). *Kompendium der Mediengestaltung für Digital- und Printmedien* (X.media.press, 5. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (SpringerLink : Bücher, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bortz, J., Barskova, T., Leitner, K., Lienert, G. A. & Oesterreich, R. (2008). *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung. Leitfaden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben; mit 97 Tabellen sowie zahlreichen Formeln* (Springer-Lehrbuch, 3., aktualisierte und bearbeitete Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Bråten, I., Britt, M. A., Strømsø, H. I. & Rouet, J. F. (2011). The Role of Epistemic Beliefs in the Comprehension of Multiple Expository Texts: Toward an Integrated Model. *Educational Psychologist*, 46 (1), 48–70.
- Bråten, I., Ferguson, L., Strømsø, H. I. & Anmarkrud, O. (2013). Justification beliefs and multiple-documents comprehension. *European Journal of Psychology of Education EJPE (Springer Science & Business Media B.V.)*, 28 (3), 879–902.
- Bråten, I., Gil, L., Strømsø, H. I. & Vidal-Abarca, E. (2009). Personal epistemology across cultures: exploring Norwegian and Spanish university students' epistemic beliefs about climate change. *Social Psychology of Education*, 12 (4), 529–560.
- Briell, J. E., Elen, J., Depaepe, F. & Clarebout, G. (2010). The Exploration of Drawings as a Tool to Gain Entry to Students' Epistemological Beliefs. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 8 (2), 655–688.
- Briell, J. E., Elen, J., Verschaffel, L. & Clarebout, G. (2011). Personal Epistemology: Nomenclature, Conceptualizations, and Measurement. In J. Elen, E. Stahl, R. Bromme & G. Clarebout (Hrsg.), *Links between beliefs and cognitive flexibility. Lessons learned* (S. 7–36). Springer Netherlands.
- Bromme, R. & Kienhues, D. (2014). Wissenschaftsverständnis und Wissenschaftskommunikation. In A. Krapp & T. Seidel (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Mit Online-Materialien* (6., vollst. überarb. Aufl., ). Weinheim [u.a.]: Beltz.
- Bromme, R. & Stahl, E. (2005). Is a hypertext a book or a space? The impact of different introductory metaphors on hypertext construction. *Computers & Education*, 44 (2), 115–133.

- Bromme, R., Kienhues, D. & Porsch, T. (2010). Who knows what and who can we believe? Epistemological beliefs are beliefs about knowledge (mostly) to be attained from others. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Hrsg.), *Personal epistemology in the classroom. Theory, research, and implications for practice. 1. publ* (S. 163–193). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Bromme, R., Kienhues, D. & Stahl, E. (2008). Knowledge and Epistemological Beliefs: An Intimate but Complicate Relationship. Knowing, Knowledge and Beliefs. In M. S. Khine (Hrsg.), *Knowing, knowledge and beliefs: Epistemological studies across diverse cultures* (S. 423–441). New York: Springer Science + Business Media.
- Bromme, R., Pieschl, S. & Stahl, E. (2010). Epistemological beliefs are standards for adaptive learning: A functional theory about epistemological beliefs and metacognition. *Metacognition and Learning*, 5 (1), 7–26.
- Brownlee, J., Purdie, N. & Boulton Lewis, G. (2001). Changing epistemological beliefs in pre-service teacher education students. *Teaching in Higher Education*, 6 (2), 247–268.
- Brülisauer, B. (2008). *Was können wir wissen? Grundprobleme der Erkenntnistheorie*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Buehl, M. M. & Alexander, P. A. (2001). Beliefs About Academic Knowledge. *Educational Psychology Review*, 13 (4), 385–418.
- Buehl, M. M. & Alexander, P. A. (2006). Examining the dual nature of epistemological beliefs. *International Journal of Educational Research*, 45 (1/2), 28–42.
- Buehl, M. M. (2008). Assessing the Multidimensionality of Students' Epistemic Beliefs Across Diverse Cultures. In M. S. Khine (Hrsg.), *Knowing, knowledge and beliefs: Epistemological studies across diverse cultures* (S. 65–112). New York: Springer Science + Business Media.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München: Pearson Studium.
- Carey, S. & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28 (3), 235.
- Carrier, M. (1981). Goethes Farbenlehre—ihre Physik und Philosophie. *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, 12 (2), 209–225.
- Carver, S. M., Lehrer, R., Connell, T. & Erickson, J. (1992). Learning by Hypermedia Design: Issues of Assessment and Implementation. *Educational Psychologist*, 27 (3), 385.
- Chen, H. L., Cannon, D., Gabrio, J. & Leifer, L. (2005). Using Wikis and Weblogs to Support Reflective Learning in an Introductory Engineering Design Course. In J. S. Gero & U. Lindemann (Hrsg.), *Human behaviour in design '05. Preprints of the International Workshop on Human Behaviour in Design '05 Grand Hyatt Hotel, Melbourne, Australia 15 August 2005* (S. 95–105). Sydney, NSW: Key Centre of Design and Computing and Cognition, University of Sydney.
- Chen, J. A. & Pajares, F. (2010). Implicit Theories of Ability of Grade 6 Science Students: Relation to Epistemological Beliefs and Academic Motivation and Achievement in Science. *Contemporary Educational Psychology*, 35 (1), 75–87.
- Chen, P. & McGrath, D. (2003). Moments of Joy: Student Engagement and Conceptual Learning in the Design of Hypermedia Documents. *Journal of Research on Technology in Education*, 35 (3), 402–422.
- Chen, S. (2006a). Development of an instrument to assess views on nature of science and attitudes toward teaching science. *Science Education*, 90 (5), 803–819.

- Chen, S. (2006b). Views on science and education (VOSE) questionnaire. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching* (7), 1–11.
- Clough, M. P. (2006). Learners' Responses to the Demands of Conceptual Change: Considerations for Effective Nature of Science Instruction. *Science & Education*, 15 (5), 463–494.
- Clough, M. P. (2007). Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: Questions rather than tenets. *The Pantaneto Forum* (25), 31–40.
- Conley, A. M., Pintrich, P. R., Vekiri, I. & Harrison, D. (2004). Changes in Epistemological Beliefs in Elementary Science Students. *Contemporary Educational Psychology*, 29 (2), 186–204.
- Cramer, C. (2012). *Entwicklung von Professionalität in der Lehrerbildung* (Klinkhardt Forschung). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Dahm, M. (2006). *Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion* (Informatik : Software-Ergonomie). München u.a: Pearson Studium.
- Damnik, G., Hilbig, A. & Proske, A. (2014). Learners-as-Designers. Ein innovatives Lehrkonzept zum aktiven Erwerb von inhaltlichem und didaktischem Wissen. In H. Fischer & T. Köhler (Hrsg.), *Postgraduale Bildung mit digitalen Medien. Fallbeispiele aus den sächsischen Hochschulen* (Medien in der Wissenschaft, Bd. 65). Münster, Westf: Waxmann.
- De Corte, E., Op 't Eynde, P., Depaepe, F. & Verschaffel, L. (2010). The reflexive relation between students' mathematics-related beliefs and the mathematics classroom culture. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Hrsg.), *Personal epistemology in the classroom. Theory, research, and implications for practice. 1. publ* (S. 292–327). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- de Vries, E. (2006). Students' construction of external representations in design-based learning situations. *Learning and Instruction*, 16 (3), 213–227.
- Demtröder, W. (2009). Experimentalphysik 2. Elektrizität und Optik. *Elektrizität und Optik*.
- Deng, F., Chen, D. T., Tsai, C.-C. & Chai, C. S. (2011). Students' views of the nature of science: A critical review of research. *Science Education*, 95 (6), 961–999.
- Dolphin, G. R. & Tillotson, J. W. (2015). "Uncentering" teacher beliefs: The expressed epistemologies of secondary science teachers and how they relate to teacher practice. *International Journal of Environmental and Science Education*, 21–38.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young peoples's images of science*. Buckingham: Open University press.
- Duit, R., Häußler, P. & Prenzel, M. (2002). Schulleistungen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (Beltz Pädagogik, 2., unveränd. Aufl., Dr. nach Typoskript, S. 169–185). Weinheim [u.a.]: Beltz-Verl.
- Einstein, A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 322 (6), 132–148.
- Elby, A. & Hammer, D. (2001). On the Substance of a Sophisticated Epistemology. *Science Education*, 85 (5), 554.
- Elby, A. & Hammer, D. (2010). Epistemological resources and framing: a cognitive framework for helping teachers interpret and respond to their students' epistemologies. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Hrsg.), *Personal epistemology in the classroom. Theory, research, and implications for practice. 1. publ* (S. 409–434). Cambridge: Cambridge Univ. Press.

- Elder, A. D. (2002). Characterizing Fifth Grade Students' Epistemological Beliefs in Science. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Hrsg.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Fechner, F. (2007). *Medienrecht. Lehrbuch des gesamten Medienrechts unter besonderer Berücksichtigung von Presse, Rundfunk und Multimedia* (UTB Rechtswissenschaft, Bd. 2154, 8., überarbeitete und erg. Aufl). Tübingen: Mohr Siebeck.
- Felbrich, A., Mülle, C. & Blomeke, S. (2008). Epistemological beliefs concerning the nature of mathematics among teacher educators and teacher education students in mathematics. *ZDM*, 40 (5), 763–776.
- Fessakis, G., Tatsis, K. & Dimitracopoulou, A. (2008). Supporting "Learning by Design" Activities Using Group Blogs. *Journal of Educational Technology & Society*, 11 (4), 199–212.
- Feucht, F. C. & Bendixen, L. D. (2010). Personal epistemology in the classroom: a welcome and guide for the reader. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Hrsg.), *Personal epistemology in the classroom. Theory, research, and implications for practice. 1. publ* (S. 3–28). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Flower, L. S. & Hayes, J. R. (1981). A cognitive process theory of writing. *College composition and communication*, 365–387.
- Franco, G. M., Muis, K. R., Kendeou, P., Ranellucci, J., Sampasivam, L. & Wang, X. (2012). Examining the influences of epistemic beliefs and knowledge representations on cognitive processing and conceptual change when learning physics. *Learning and Instruction*, 22 (1), 62–77.
- Fuhrin, K. (2013). *Der prominente Wissenschaftler. Motive für mediale Präsenz* (Research). Wiesbaden: Springer VS.
- Gerthsen, C. & Meschede, D. (2010). Gerthsen Physik. *Gerthsen Physik*.
- Girwidz, R. (2010a). Medien im Physikunterricht. Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, S. 203–264). Springer Berlin Heidelberg.
- Girwidz, R. (2010b). Neue Medien und Multimedia. Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, S. 423–450). Springer Berlin Heidelberg.
- Good, R. (2012). Why the Study of Pseudoscience Should Be Included in Nature of Science Studies. In M. S. Khine (Hrsg.), *Advances in nature of science research. Concepts and methodologies* (S. 97–122). Dordrecht: Springer.
- Grotzer, T. A., Miller, R. B. & Lincoln, R. A. (2012). Perceptual, Attentional, and Cognitive Heuristics That Interact with the Nature of Science to Complicate Public Understanding of Science. In M. S. Khine (Hrsg.), *Advances in nature of science research. Concepts and methodologies* (S. 27–49). Dordrecht: Springer.
- Gruber, H. & Stamouli, E. (2015). Intelligenz und Vorwissen. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Mit ... 22 Tabellen* (Springer-Lehrbuch, 2., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl, S. 25–44). Berlin [u.a.]: Springer.
- Haerle, F. C. & Bendixen, L. D. (2008). Personal Epistemology in Elementary Classrooms: A Conceptual Comparison of Germany and the United States and a Guide for Future Cross-Cultural Research. In M. S. Khine (Hrsg.), *Knowing, knowledge and beliefs: Epistemological studies across diverse cultures*. New York: Springer Science + Business Media.

- Hakkarainen, P. (2011). Promoting Meaningful Learning through Video Production- Supported PBL. *Interdisciplinary Journal of Problem based Learning*, 5 (1), 34–53.
- Hammer, D. & Elby, A. (2002). On the form of a personal epistemology. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Hrsg.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (S. 169–190). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Hammer, D. & Elby, A. (2003). Tapping Epistemological Resources for Learning Physics. *Journal of the Learning Sciences*, 12 (1), 53–90.
- Hammer, N. & Bensmann, K. (2009). Webdesign für Studium und Beruf. Webseiten planen, gestalten und umsetzen. *Webdesign für Studium und Beruf*.
- Han, S. & Bhattacharya, K. (2001) Constructionism, Learning by Design, and Project-Based Learning. In M. Orey (Hrsg.), *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology* (S. 127–141).
- Hardy, I., Kleickmann, T., Koerber, S., Mayer, D., Möller, K., Pollmeier, J. et al. (2010). Die Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz im Grundschulalter. Projekt Science-P1. In E. Klieme, D. Leutner & M. Kenk (Hrsg.) Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes. *Zeitschrift für Pädagogik*. (Beiheft 56), 115–125 [Themenheft]. Weinheim und Basel: Beltz.
- Heisenberg, W. (1971a). Änderungen der Denkstruktur im Fortschritt der Wissenschaft. Vortrag, gehalten vor der Vereinigung Deutscher Wissenschaftler in München, 1969. In *Schritte über Grenzen*,. *Gesammelte Reden und Aufsätze* (S. 275–286). München: R. Piper.
- Heisenberg, W. (1971b). Das Naturbild der heutigen Physik. Vortrag im Rahmen der Münchner Tagung der Bayerischen Akademie der Schönen Künste am 17.11.1953. In *Schritte über Grenzen*,. *Gesammelte Reden und Aufsätze* (S. 108–127). München: R. Piper.
- Heisenberg, W. (1971c). Sprache und Wirklichkeit in der modernen Physik. Vortrag im Rahmen der Tagung der Bayer. Akademie der Schönen Künste im Jahre 1960. In *Schritte über Grenzen*,. *Gesammelte Reden und Aufsätze* (S. 160–181). München: R. Piper.
- Herrmann, K. (2012). *Welche Kompetenz hat Wissenschaftsphilosophie?* Chemnitz: Universitätsverlag Chemnitz.
- Hofer, B. K. & Pintrich, P. R. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67 (1), 88–140.
- Hofer, B. K. (2000). Dimensionality and disciplinary differences in personal epistemology. *Contemporary Educational Psychology*, 25 (4), 378–405.
- Hofer, B. K. (2001). Personal Epistemology Research: Implications for Learning and Teaching. *Educational Psychology Review*, 13 (4), 353–383.
- Hofer, B. K. (2002). Personal Epistemology as a Psychological and Educational Construct: An Introduction. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Hrsg.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Hofer, B. K. (2004a). Epistemological Understanding as a Metacognitive Process: Thinking Aloud During Online Searching. *Educational Psychologist*, 39 (1), 43–55.
- Hofer, B. K. (2004b). Exploring the dimensions of personal epistemology in differing classroom contexts: Student interpretations during the first year of college. *Contemporary Educational Psychology*, 29 (2), 129–163.



- Hofer, B. K. (2006). Domain specificity of personal epistemology: Resolved questions, persistent issues, new models. *International Journal of Educational Research*, 45 (1/2), 85–95.
- Hofer, B. K. (2008). Personal Epistemology and Culture. In M. S. Khine (Hrsg.), *Knowing, knowledge and beliefs: Epistemological studies across diverse cultures* (S. 3–22). New York: Springer Science + Business Media.
- Hofer, M. & Owings-Swan, K. (2005). Digital moviemaking—the harmonization of technology, pedagogy and content. *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, 1 (2), 102–110.
- Hofheinz, V. (2008). *Erwerb von Wissen über "Nature of Science"*. Dissertation, Siegen, Universität.
- Honerkamp, J. (2013). *Was können wir wissen? Mit Physik bis zur Grenze verlässlicher Erkenntnis*. Berlin: Springer Spektrum.
- Höttecke, D. (2004a). Schülervorstellungen über die "Natur der Naturwissenschaften". In D. Höttecke, C. Höble & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 264–277). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Höttecke, D. (2004b). Wissenschaftsgeschichte im naturwissenschaftlichen Unterricht. In D. Höttecke, C. Höble & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 43–56). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Höttecke, D., Henke, A. & Riess, F. (2012). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, 21 (9), 1233–1261.
- Jehng, J.-C. J., Johnson, S. D. & Anderson, R. C. (1993). Schooling and students' epistemological beliefs about learning. *Contemporary Educational Psychology*, 18, 23–35.
- Jeong, A. (2008). *Computer Supported Collaborative Learning. Imapemap*. Zugriff am 29.06.2014. Verfügbar unter <http://cscl.wikispaces.com/imapemap>
- Jonassen, D. H. (1995). Computers as cognitive tools: Learning with technology, not from technology. *Journal of Computing in Higher Education*, 6 (2), 40–73.
- Kammerer, Y., Amann, D. G. & Gerjets, P. (2015). When adults without university education search the Internet for health information: The roles of Internet-specific epistemic beliefs and a source evaluation intervention. *Computers in Human Behavior*, 48, 297–309.
- Kasper, L. (2011). Die inszenierte Kontroverse: Erzählen und Lernen über Naturwissenschaften. Lernen und Erzählen interdisziplinär. In O. Hartung, I. Steininger & T. Fuchs (Hrsg.) (S. 159–170). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Ke, F. (2014). An implementation of design-based learning through creating educational computer games: A case study on mathematics learning during design and computing. *Comput. Educ.*, 73, 26–39.
- Kelle, U. (2008). *Die Integration qualitativer und quantitativer Methoden in der empirischen Sozialforschung. Theoretische Grundlagen und methodologische Konzepte* (2. Aufl). Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwissenschaften.
- Khishfe, R. & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (7), 551–578.
- Khishfe, R. & Lederman, N. G. (2007). Relationship between Instructional Context and Views of Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 29 (8), 939–961.

- Kienhues, D., Bromme, R. & Stahl, E. (2008). Changing epistemological beliefs: The unexpected impact of a short-term intervention. *British Journal of Educational Psychology*, 78 (4), 545–565.
- Kienhues, D., Ferguson, L. & Stahl, E. (2016). Diverging information and epistemic change. In J. A. Greene, W. A. Sandoval & I. Bråten (Hrsg.), *Handbook of Epistemic Cognition*. Routledge.
- Kimber, K. & Wyatt-Smith, C. (2006). Using and creating knowledge with new technologies: a case for students-as-designers. *Learning, Media and Technology*, 31 (1), 19–34.
- Kircher, E. & Dittmer, A. (2004). Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften - ein Überblick. In D. Höttecke, C. Höhle & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften*. Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Kircher, E. (2015a). Methoden im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl, S. 141–192). Berlin [u.a.]: Springer Spektrum.
- Kircher, E. (2015b). Über die Natur der Naturwissenschaften lernen. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl, S. 809–841). Berlin [u.a.]: Springer Spektrum.
- Kircher, E. (2015c). Warum Physikunterricht? In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl, S. 15–69). Berlin [u.a.]: Springer Spektrum.
- Kitchener, R. F. (2011). Personal Epistemology and Philosophical Epistemology: The View of a Philosopher. In J. Elen, E. Stahl, R. Bromme & G. Clarebout (Hrsg.), *Links between beliefs and cognitive flexibility. Lessons learned*. Springer Netherlands.
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemässe Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik* (Beltz Bibliothek, 6., neu ausgestattete Aufl). Weinheim: Beltz.
- Klieme, E. & Baumert, J. (2001). TIMSS als Startpunkt für Qualitätssicherung und Qualitätsentwicklung im Bildungswesen. In J. Baumert & E. Klieme (Hrsg.), *TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht. Forschungsbefunde, Reforminitiativen, Praxisberichte und Video-Dokumente* (BMBF publik ). Bonn: BMBF.
- Köller, O., Baumert, J. & Neubrand, J. (2000). Epistemologische Überzeugungen und Fachverständnis im Mathematik- und Physikunterricht. In *TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie. Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. 2. Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe* (S. 229–269). Opladen: Leske u. Budrich.
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J. et al. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design (tm) into practice. *The journal of the learning sciences*, 12 (4), 495–547.
- Kremer, K. & Mayer, J. (2013). Entwicklung und Stabilität von Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*.
- Kuhn, W. (2001). *Ideengeschichte der Physik. Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext* (1. Aufl.). Braunschweig: Vieweg.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A. & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry-The

- views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51 (1), 65–83.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, Present, and Future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 831–879). Lawrence Erlbaum Associates.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (6), 497–521.
- Lederman, N. G., Lederman, J. S. & Antik, A. (2013). Nature of Science and Scientific Inquiry as Contexts for the Learning of Science and Achievement of Scientific Literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology* (1(3)), 138–147.
- Liang, L. L., Chen, S., Chen, X., Kaya, O. N., Adams, A. D., Macklin, M. et al. (2006). *Student Understanding of Science and Scientific Inquiry (SUSSI): revision and further validation of an assessment instrument*. Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST). Zugriff am 21.06.2015. Verfügbar unter [http://www.gb.nrao.edu/~sheather/For\\_Sarah/lit%20on%20nature%20of%20science/SUSSI.pdf](http://www.gb.nrao.edu/~sheather/For_Sarah/lit%20on%20nature%20of%20science/SUSSI.pdf)
- Lidar, M., Lundqvist, E. & Östman, L. (2006). Teaching and learning in the science classroom: The interplay between teachers' epistemological moves and students' practical epistemology. *Science Education*, 90 (1), 148–163.
- Limón, M. (2006). The domain generality-specificity of epistemological beliefs: A theoretical problem, a methodological problem or both? *International Journal of Educational Research*, 45 (1/2), 7–27.
- Liu, M. (2003). Enhancing Learners' Cognitive Skills Through Multimedia Design. *Interactive Learning Environments*, 11 (1), 23.
- Maalampi, J. (2008). Die Weltlinie. Albert Einstein und die moderne Physik. *Weltlinie*.
- Mason, L. & Scirica, F. (2006). Prediction of Students' Argumentation Skills about Controversial Topics by Epistemological Understanding. *Learning and Instruction*, 16 (5), 492–509.
- Mason, L. (2010). Beliefs about knowledge and revision of knowledge: on the importance of epistemic beliefs for intentional conceptual change in elementary and middle school students. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Hrsg.), *Personal epistemology in the classroom. Theory, research, and implications for practice. 1. publ* (S. 258–291). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Mason, L., Boldrin, A. & Ariasi, N. (2010a). Epistemic metacognition in context: evaluating and learning online information. *Metacognition & Learning*, 5 (1), 67–90.
- Mason, L., Boldrin, A. & Ariasi, N. (2010b). Searching the Web to learn about a controversial topic: are students epistemically active? *Instructional Science*, 38 (6), 607–633.
- Matthews, M. I. (1989). A role for history and philosophy in science teaching. *Interchange*, 20 (2), 3–15.
- Matthews, M. I. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). In M. S. Khine (Hrsg.), *Advances in nature of science research. Concepts and methodologies* (S. 3–26). Dordrecht: Springer.
- Mayer, R. E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? *American Psychologist*, 59 (1), 14–19.

- Mayers, A. (2013). *Introduction to Statistics and SPSS in Psychology*: Pearson Education, Limited.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (Beltz Pädagogik, 12., aktualisierte und überarb. Aufl.). Weinheim [u.a.]: Beltz.
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17 (2/3), 249–263.
- McComas, W. F., Almazroa, H. & Clough, M. P. (1998). The Nature of Science in Science Education: An Introduction. *Science & Education* (7), 511–532.
- Mendoza, J. L., Stafford, K. L. & Stauffer, J. M. (2000). Large-sample confidence intervals for validity and reliability coefficients. *Psychological Methods*, 5 (3), 356–369.
- Meyerhoff, J. & Brühl, C. (2015). *Fachwissen lebendig vermitteln. Das Methodenhandbuch für Trainer und Dozenten* (Edition Rosenberger, 3. Aufl. 2015. Nachdruck 2015). Wiesbaden: Gabler.
- Mikelskis, H. F. (2006). Goethe meets Newton - ein multimedial, narrativer Disput über Farben. In A. Pitton (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit neuen Medien. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Paderborn 2005* (Bd. 26, S. 93–95). Münster: LIT-Verlag.
- Mikelskis, H. F. (2010). Evaluating the learning potency of historical and epistemological relevant dialogues. In M. F. Taşar & G. Çakmakçı (Hrsg.), *Contemporary science education research: international perspectives* (S. 331–339). Ankara: Pegem Akademi.
- Mikelskis-Seifert, S. & Fischler, H. (2003). Die Bedeutung des Denkens in Modellen bei der Entwicklung von Teilchenvorstellungen. Stand der Forschung und Entwurf einer Unterrichtskonzeption. In R. Duit (Hrsg.), *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (Jg. 9, Jg. 9, S. 75–88).
- Mikelskis-Seifert, S. & Leisner, A. (2004). Systematisches und bewusstes Lernen über Modelle. In D. Höttecke, C. Höhle & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 130–147). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Mikelskis-Seifert, S., Stahl, E., Helmke, B. & Kasper, L. (2012). Optik Lehren mit dem "Learning by Design"-Ansatz. In S. Bernholt (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Oldenburg 2011* (Bd. 32, S. 140–142). Münster: LIT-Verlag.
- Muis, K. R. & Duffy, M. C. (2013). Epistemic climate and epistemic change: Instruction designed to change students' beliefs and learning strategies and improve achievement. *Journal of Educational Psychology*, 105 (1), 213–225.
- Muis, K. R., Bendixen, L. D. & Haerle, F. C. (2006). Domain-Generality and Domain-Specificity in Personal Epistemology Research: Philosophical and Empirical Reflections in the Development of a Theoretical Framework. *Educational Psychology Review*, 18 (1), 3–54.
- National Research Council (NRC). (1996). National Science Education Standards. NRC. Verfügbar unter [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=4962](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=4962)
- National Research Council (NRC). (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. NRC. Verfügbar unter [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=13165](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13165)
- Neumann, I. & Kremer, K. (2013). Nature of Science und epistemologische Überzeugungen – Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 211–234.

- Niedderer, H. & Schecker, H. (2004). Physik lernen und das Vorverständnis der Schüler. In D. Höttecke, C. Hößle & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 248–263). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Oschatz, K. (2011). *Intuition und fachliches Lernen. Zum Verhältnis von epistemischen Überzeugungen und Alltagsphantasien*. Wiesbaden: VS-Verlag.
- Paechter, M., Maier, B. & Grabensberger, E. (2007). Evaluation medienbasierter Lehre mittels der Einschätzung des Kompetenzerwerbs. *Zeitschrift für Medienpsychologie*, 19 (2), 68–75.
- Pajares, F. M. (1992). Teachers' Beliefs and Educational Research: Cleaning Up a Messy Construct. *Review of Educational Research*, 62 (3), 307–332.
- Perry, W. G. (1970). *Forms of intellectual and ethical development in the college years;: A scheme*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Pieschl, S., Stahl, E. & Bromme, R. (2013). Adaptation to context as core component of self-regulated learning: The example of complexity and epistemic beliefs. In R. Azevedo & Aleven, Vincent A. W. M. M (Hrsg.), *International handbook of metacognition and learning technologies* (Springer international handbooks of education, v.26, S. S 53-65). New York, NY: Springer.
- Pintrich, P. R. (2002). Future Challenges and Directions for Theory and Research on Personal Epistemology. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Hrsg.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (S. 389–414). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Porsch, T. & Bromme, R. (2011). Effects of epistemological sensitization on source choices. *Instructional Science*, 39 (6), 805–819.
- Povh, B. (2011). *Anschauliche Physik. Für Naturwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Proske, A., Damnik, G. & Körndle, H. (2011). Learners-as-Designers: Wissensräume mit kognitiven Werkzeugen aktiv nutzen und konstruieren. In T. Köhler (Hrsg.), *Wissensgemeinschaften. Digitale Medien - Öffnung und Offenheit in Forschung und Lehre* (Medien in der Wissenschaft, Bd. 60, S. 198–208). Münster: Waxmann.
- Reimann, P. & Zumbach, J. (2001). Design, Diskurs und Reflexion als zentrale Elemente virtueller Seminare. In F. W. Hesse & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Partizipation und Interaktion im virtuellen Seminar* (S. Seiten 135-163).
- Richter, T. & Maier, J. (2014). Verstehen multipler Texte zu kontroversen wissenschaftlichen Themen. Die Rolle der epistemischen Validierung. *Unterrichtswissenschaft <Weinheim> : Zeitschrift für Lernforschung*, 42 (1).
- Richter, T. (2011). Cognitive Flexibility and Epistemic Validation in Learning from Multiple Texts. In J. Elen, E. Stahl, R. Bromme & G. Clarebout (Hrsg.), *Links between beliefs and cognitive flexibility. Lessons learned* (S. 125–140). Springer Netherlands.
- Robin, B. R. (2008). Digital Storytelling: A Powerful Technology Tool for the 21st Century Classroom. *Theory Into Practice*, 47 (3), 220–228.
- Römer, H. (1999). Naturgegeben oder frei erfunden? Wieviel Freiheit gibt es in der Physik? Vortrag an der Katholischen Akademie Freiburg, 22.06.1997. In H. M. Baumgartner, K. Jacobi, H. Ottmann & W. Vossenkuhl (Hrsg.), *Philosophisches Jahrbuch* (106/I, Bd. 106, S. 220–232). Freiburg: Verlag Karl Alber.
- Rönnebeck, S., Schöps, K., Prenzel, M., Mildner, D. & Hochweber, J. (2010). Naturwissenschaftliche Kompetenz von PISA 2006 bis PISA 2009. In E. Klieme, C. Artelt, J. Hartig, N.

- Jude, M. Prenzel, W. Schneider et al. (Hrsg.), *PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt* (S. 177–197). Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.
- Rössler, P. (2010). *Inhaltsanalyse* (UTB, 2671 : Basics, 2., überarb. Aufl). Konstanz: UVK-Verl.-Ges.
- Rössler, W. (2009). *Eine kleine Nachtphysik. Große Ideen und ihre Entdecker* (rororo sachbuch, Bd. 62487). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verl.
- Röthlein, B. (2004). *Die Quantenrevolution. Neue Nachrichten aus der Teilchenphysik* (premium, Bd. 24389, Orig.-Ausg). München: Deutscher Taschenbuch-Verl.
- Rule, D. C. & Bendixen, L. D. (2010). The integrative model of personal epistemology development: theoretical underpinnings and implications for education. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Hrsg.), *Personal epistemology in the classroom. Theory, research, and implications for practice. 1. publ* (S. 94–123). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Safro, K. F. (2012). Learning by Design. In N. M. Seel (Hrsg.), *Encyclopedia of the sciences of learning* (Springer reference ). [S.I.]: Springer.
- Sandkühler, H. J. (Hrsg.). (2002). *Enzyklopädie Philosophie. In drei Bänden* [Ausg. in 3 Bd.]. Hamburg: Meiner.
- Sandoval, W. A. (2009). In Defense of Clarity in the Study of Personal Epistemology. *Journal of the Learning Sciences* (18:1), 150–161.
- Schecker, H. & Pachmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45–66.
- Schmid, S. & Lutz, A. (2007). Epistemologische Überzeugungen als kohärente Laientheorien. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 21 (1), 29–40.
- Schoenfeld, A. H. (1983). Beyond the purely cognitive: Belief systems, social cognitions, and metacognitions as driving forces in intellectual performance. *Cognitive Science*, 7 (4), 329–363.
- Schoenfeld, A. H. (1992). Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense making in mathematics, 334–370, xi, 771.
- Schommer, M. (Sep, 1990). Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 82 (3), 498–504.
- Schüller, V. (1999). Goethe versus Newton: Zum 250. Geburtstag von Johann Wolfgang von Goethe. *Physikalische Blätter*, 55 (12), 62–66.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Abd-El-Khalick, F. (2012). A series of misrepresentations: A response to Allchin's whole approach to assessing nature of science understandings. *Science Education*, 96 (4), 685–692.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Lederman, J. S. (2008). *An Instrument To Assess Views Of Scientific Inquiry: The VOSI Questionnaire. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science (NARST)*. Zugriff am 21.06.2015. Verfügbar unter <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.519.2693>
- Seidel, T., Schwindt, K., Rimmele, R. & Prenzel, M. (2008). Konstruktivistische Überzeugungen von Lehrpersonen: Was bedeuten sie für den Unterricht? In M. A. Meyer, M. Prenzel & S. Hellekamps (Hrsg.) *Perspektiven der Didaktik [Themenheft]*. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwissenschaften.

- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2005). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss - Beschluss vom 16.12. 2004. KMK.
- Shaltry, C., Henriksen, D., Wu, M. & Dickson, W. (2013). Situated Learning with Online Portfolios, Classroom Websites and Facebook. *TechTrends: Linking Research & Practice to Improve Learning*, 57 (3), 20–25.
- Shapin, S. (1992). Why the Public Ought to Understand Science-in-the-Making. *Public Understanding of Science*, 1 (1), 27–30.
- Siegle, D. (2006). Using hyperlinks to unleash the power of PowerPoint. *Gifted Child Today*, 29 (3), 40–45.
- Sin, C. (2014). Epistemology, Sociology, and Learning and Teaching in Physics. *Science Education*, 98 (2), 342–365.
- Sinatra, G. M., Kienhues, D. & Hofer, B. K. Addressing Challenges to Public Understanding of Science: Epistemic Cognition, Motivated Reasoning, and Conceptual Change. *Educational Psychologist*.
- Smith, M. U. & Lederman, N. G. (1997). How great is the disagreement about the nature of science: A response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (10), 1101–1103.
- Sodian, B. & Koerber, S. (2011). Hypothesenprüfung und Evidenzevaluation im Grundschulalter. *Unterrichtswissenschaft*, 39 (1), 21–34.
- Sosu, E. M. & Gray, D. S. (2012). Investigating change in epistemic beliefs: An evaluation of the impact of student teachers' beliefs on instructional preference and teaching competence. *International Journal of Educational Research* (53), 80–92.
- Southerland, S. A., Golden, B. & Enderle, P. (2012). The Bounded Nature of Science: An Effective Tool in an Equitable Approach to the Teaching of Science. In M. S. Khine (Hrsg.), *Advances in nature of science research. Concepts and methodologies* (S. 75–96). Dordrecht: Springer.
- Stadtler, M., Bromme, R. & Rouet, J. F. (2014). "Science meets Reading": Worin bestehen die Kompetenzen zum Lesen multipler Dokumente zu Wissenschaftsthemen und wie fordert man sie? *Unterrichtswissenschaft*, 42 (1), 55–68.
- Stahl, E. & Bromme, R. (2005). Das Schreiben von Hypertexten im Unterricht. Ein forschungsbasiertes didaktisches Konzept. *Unterrichtswissenschaft*, 33 (3), 212–226.
- Stahl, E. & Bromme, R. (2007). The CAEB: An instrument for measuring connotative aspects of epistemological beliefs. *Learning & Instruction*, 17 (6), 773–785.
- Stahl, E. (2001). *Hyper-Text-Schreiben. Die Auswirkungen verschiedener Instruktionen auf Lernprozesse beim Schreiben von Hypertext* (Internationale Hochschulschriften). Münster, New York: Waxmann.
- Stahl, E. (2009). Lernen durch Gestalten von digitalen Medien. In R. Plötzner, T. Leuders & A. Wichert (Hrsg.), *Lernchance Computer. Strategien für das Lernen mit digitalen Medienverbünden* (Medien in der Wissenschaft, Band 52, S. 241–262). Münster: Waxmann.
- Stahl, E. (2010). Learning by Design: Potentiale für Lern- und Lehrprozesse im Zeitalter des Web 2.0. In U. Dittler (Hrsg.), *Zwischen Kompetenzerwerb und Mediensucht. Chancen und Gefahren des Aufwachsens in digitalen Erlebniswelten aus medienpsychologischer und medienpädagogischer Sicht*. München: kopaed.

- Stahl, E. (2011). The Generative Nature of Epistemological Judgments: Focusing on Interactions Instead of Elements to Understand the Relationship Between Epistemological Beliefs and Cognitive Flexibility. *Links Between Beliefs and Cognitive Flexibility*. In J. Elen, E. Stahl, R. Bromme & G. Clarebout (Hrsg.), *Links between beliefs and cognitive flexibility. Lessons learned* (S. 37–60). Springer Netherlands.
- Stahl, E., Bromme, R., Stadtler, M. & Jaron, R. (2007). Learning by hypertext writing: Effects of considering a single audience versus multiple audiences on knowledge acquisition. In M. Torrance, L. van Waes & D. Galbraith (Hrsg.), *Writing and cognition: Research and applications* (Studies in writing; 1572-6304, S. 307–321). New York: Elsevier Science.
- Stahl, E., Finke, M. & Zahn, C. (2006). Knowledge Acquisition by Hypervideo Design: An Instructional Program for University Courses. *Journal of Educational Multimedia & Hypermedia*, 15 (3), 285–302.
- Stathopoulou, C. & Vosniadou, S. (2007). Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding. *Contemporary Educational Psychology*, 32 (3), 255–281.
- Süddeutsche Zeitung. (2011). *Nobelpreis für Chemie geht an Kristallforscher – Die unmögliche Symmetrie der Quasikristalle*. Zugriff am 26.12.2014. Verfügbar unter <http://www.sueddeutsche.de/wissen/stockholm-nobelpreis-fuer-chemie-geht-nach-israel-1.1155492>
- Taber, K. S. (2012). The Natures of Scientific Thinking: Creativity as the Handmaiden to Logic in the Development of Public and Personal Knowledge. In M. S. Khine (Hrsg.), *Advances in nature of science research. Concepts and methodologies* (S. 51–74). Dordrecht: Springer.
- Taylor, L., McGrath-Champ, S. & Clarkeburn, H. (2012). Supporting student self-study: The educational design of podcasts in a collaborative learning context. *Active Learning in Higher Education*, 13 (1), 77–90.
- Thissen, F. (2003). *Kompendium Screen-Design. Effektiv informieren und kommunizieren mit Multimedia* (X.media.press, 3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Tipler, P. A. & Mosca, G. (2012). *Physik. Für Wissenschaftler und Ingenieure* (6. dt. Aufl., korr. Nachdr). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Topcu, M. S. (2013). Preservice Teachers' Epistemological Beliefs in Physics, Chemistry, and Biology: A Mixed Study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11 (2), 433–458.
- Trautmann, M. (2005). Überzeugungen vom Englischlernen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 8 (1), 38–52.
- Trautwein, U. & Lüdtke, O. (2007). Predicting global and topic-specific certainty beliefs: Domain-specificity and the role of the academic environment. *British Journal of Educational Psychology*, 77 (4), 907–934.
- Trautwein, U. & Lüdtke, O. Epistemological beliefs, school achievement, and college major. A large-scale longitudinal study on the impact of certainty beliefs. *Contemporary Educational Psychology*.
- Tsai, C.-C. (2002). Nested epistemologies: science teachers' beliefs of teaching, learning and science. *International Journal of Science Education*, 24 (8), 771–783.
- Tsai, C.-C. (2008). The use of Internet-based instruction for the development of epistemological beliefs: A case study in Taiwan. In M. S. Khine (Hrsg.), *Knowing, knowledge and beliefs: Epistemological studies across diverse cultures* (S. 273–285). New York: Springer Science + Business Media.



- Urhahne, D. (2006). Die Bedeutung domanenspezifischer epistemologischer Überzeugungen für Motivation, Selbstkonzept und Lernstrategien von Studierenden. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20 (3), 189–198.
- Vartiainen, H., Liljeström, A. & Enkenberg, J. (2012). Design-Oriented Pedagogy for Technology-Enhanced Learning to Cross Over the Borders between Formal and Informal Environments. *J. UCS*, 18 (15), 2097–2119.
- Voss, T., Kleickmann, T., Kunter, M. & Hachfeld, A. (2011). Überzeugungen von Mathematiklehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 235–257). [s.l.]: Waxmann Verlag.
- Weinstock, M. (2010). Epistemic Understanding and Sound Reasoning Skills that Underlie Effective Democratic Engagement. *In Factis Pax*, 4, 56–77.
- Wellnitz, N., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, H. A. et al. (2012). Evaluation der Bildungsstandards. Eine fächerübergreifende Testkonzeption für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18 (p263-293), 263–293.
- Welsch, N., Schwab, J. & Liebmann, C. C. (2013). *Materie. Feuer, Luft, Wasser, Erde*. Berlin: Springer Spektrum.
- Wildenger, L. K., Hofer, B. K. & Burr, J. E. (2010). Epistemological development in very young knowers. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Hrsg.), *Personal epistemology in the classroom. Theory, research, and implications for practice. 1. publ.* Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Winne, P. H. & Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated learning, 277–304.
- Yang, F.-Y. & Tsai, C.-C. (2010). An epistemic framework for scientific reasoning in informal contexts. In L. D. Bendixen & F. C. Feucht (Hrsg.), *Personal epistemology in the classroom. Theory, research, and implications for practice. 1. publ* (S. 125–162). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Yarden, A. (2009). Reading Scientific Texts: Adapting Primary Literature for Promoting Scientific Literacy. *Research in Science Education*, 39 (3), 307–311.
- Zahn, C., Schaeffeler, N., Giel, K. E., Wessel, D., Thiel, A., Zipfel, S. et al. (2013). Video clips for YouTube: Collaborative video creation as an educational concept for knowledge acquisition and attitude change related to obesity stigmatization. *Education and Information Technologies*, 1–19.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Komplexe, multidimensionale und interaktive Charakteristik epistemischer Überzeugungen. Modell übersetzt nach Buehl und Alexander (2006, S. 30) .....	12
Abbildung 2.2:	Epistemische Beurteilung von Wissen im Rahmen des Ansatzes der Generativen Natur epistemischer Urteile .....	16
Abbildung 2.3:	Beispiel für die Bildung gleicher epistemischer Urteile bei Aktivierung unterschiedlicher kognitiver Elemente (Abbildung nach Stahl, 2011, S. 49–50) .....	22
Abbildung 3.1:	Wissensdomänen von Lehrkräften zum Unterrichten mit und über Nature of Science (übersetzt nach Abd-El-Khalick, 2013, S. 2101).....	65
Abbildung 4.1:	Heuristik: Wissenschaftsverständnis in Physik – ein integratives Modell .....	75
Abbildung 4.2:	Beispiel für ein epistemisches Urteil zur Vergänglichkeit von Wissen mit möglichen zugrunde liegenden NOS-Ansichten zur vorläufigen Natur der Naturwissenschaften .....	76
Abbildung 5.1:	Knowledge Transforming Modell übersetzt nach Bereiter & Scardamalia, 1987 .....	88
Abbildung 5.2:	COPEs-Modell (Winne & Hadwin, 1998, S. 282) .....	89
Abbildung 7.1:	Newtons Experiment zur Untersuchung der Natur des Lichts (Abbildungen aus Tipler & Mosca, 2012) .....	102
Abbildung 7.2:	Lichtausbreitung nach Huygens als Stoßwelle im Äther (aus Kuhn, 2001, S. 275) .....	103
Abbildung 7.3:	Thomas Youngs Doppelspaltversuch, bei dem zwei enge parallele Spalte ( $S_1$ und $S_2$ ) als kohärente Lichtquellen dienten (aus Tipler & Mosca, 2012, S. 1324).....	107
Abbildung 7.4:	Schematische Darstellung der Messapparatur zum Nachweis des photoelektrischen Effekts (aus Povh, B. (2011). Anschauliche Physik. Für Naturwissenschaftler. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.S. 222).....	109
Abbildung 7.5:	Anwendung des Huygensschen Prinzips zur Erklärung des Brechungsgesetzes (Originalzeichnung Huygens aus Kuhn (2001, S. 277)) .....	112
Abbildung 7.6:	Verschiedene Sitestrukturmodelle: a) Linearstruktur, b) Leiterstruktur, c) Baumstruktur, d) Matrixstruktur, e) Netzstruktur, f) Mischform; Abbildungen aus Hammer und Bensmann (2009) .....	116
Abbildung 7.7:	Geplanter Verlauf der Interventionsmaßnahme (explorative Studie) ....	121
Abbildung 7.8:	Struktur des Hypertexts der explorativen Interventionsmaßnahme .....	124
Abbildung 8.1:	CAEB: ein Instrument zur disziplin- bzw. kontextspezifischen Erhebung epistemischer Urteile (Stahl & Bromme, 2007) .....	137
Abbildung 8.2:	Verkleinerte Darstellung der Kombination von VNOS- und CAEB-Items in einem Aufgabenblock (zwei Seiten) .....	143
Abbildung 8.3:	Exemplarische Abbildungen zweier Venn-Diagramme zur Darstellung des Verhältnisses zwischen Theorie und Gesetz .....	144
Abbildung 9.1:	Polaritätsprofile des semantischen Differentials des CAEB: disziplinspezifische epistemische Urteile zum Wissen in Physik und Erziehungswissenschaften/Pädagogik.....	167

Abbildung 9.2:	Polaritätsprofile des semantischen Differentials des CAEB: Vergleich von disziplinspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen in Physik und themenspezifischen epistemischen Urteilen zum Wissen über die Struktur von Atomen .....	168
Abbildung 9.3:	Vergleich disziplin- und themenspezifischer epistemischer Urteile .....	170
Abbildung 9.4:	Zeichenzahl offener Items im Vergleich zwischen den Schularten .....	172
Abbildung 9.5:	Zeichenzahl offener Items im Vergleich zwischen Physikern und Nichtphysikern .....	173
Abbildung 9.6:	Prozentualer Anteil der Antwortkategorie „keine Ahnung“ je offenem Item .....	177
Abbildung 10.1:	Schematische Darstellung der Interventionsplanung (Hauptstudie) .....	200
Abbildung 10.2:	Ideen zum Grundkonzept des Hypertexts (Interventionsgruppe A) .....	201
Abbildung 10.3:	Ideen zum Grundkonzept des Hypertexts (Interventionsgruppe B) .....	202
Abbildung 10.4:	Visualisierung der Gesamtstruktur anhand von Ausdrucken (Informationsknoten) und Wollfäden (Hyperlinks) .....	206
Abbildung 10.5:	Sitestructur des Hypertexts der Interventionsgruppe A .....	207
Abbildung 10.6:	Sitestructur des Hypertexts der Interventionsgruppe B .....	208
Abbildung 10.7:	Einschätzung des Kompetenzerwerbs durch Learning by Design nach Gruppen (Physiker/Nichtphysiker) .....	213
Abbildung 10.8:	Durchschnittliche Zeichenzahl der Antworten in den offenen Items der Hauptstudie .....	219
Abbildung 10.9:	Bezüge von NOS-Aspekten zu Inhalten der Interventionsphase .....	221
Abbildung 10.10:	Interaktionseffekt der Veränderung der Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften .....	231
Abbildung 10.11:	Einsatz von Learning by Design im zukünftigen Unterricht .....	241
Abbildung 10.12:	Anzahl von Nennungen an Gründen für möglichen Einsatz von Learning by Design im zukünftigen Unterricht .....	242
Abbildung 10.13:	Erklärung für die Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch die Intervention .....	261

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Konsens zu Nature of Science-Grundsätzen aus acht internationalen Standarddokumenten zum naturwissenschaftlichen Unterricht (übersetzt nach McComas et al., 1998, S. 513).....	42
Tabelle 3.2:	NOS-Aspekte und dazu passende Beispiele aus der Wissenschaftsgeschichte .....	63
Tabelle 5.1:	Förderung bestimmter Fähigkeiten/Fertigkeiten nach Design-Phasen und ihren Aktivitäten.....	85
Tabelle 7.1:	Einschätzung des eigenen Kompetenzerwerbs durch Learning-by-Design der Studierenden in der explorativen Phase (5-stufige Likert-Skala) .....	126
Tabelle 8.1:	Bestandteile des Instruments zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik in der Fassung der Vorstudie. ....	142
Tabelle 9.1:	Zusammensetzung der Stichprobe der Vorstudie .....	151
Tabelle 9.2:	Vergleich der Faktorenstrukturen des CAEB zu epistemischen Urteilen in der Domäne Physik .....	154
Tabelle 9.3:	Faktorenstruktur adaptierter Items aus TSEQB .....	156
Tabelle 9.4:	Skalen des Fragebogens, Itemanzahlen und Reliabilitätskoeffizienten .....	158
Tabelle 9.5:	Hauptkategorien mit Angabe der Anzahlen der Subkategorien und der InterCoder-Übereinstimmung nach Holsti.....	165
Tabelle 9.6:	Angemessene Ansichten von Studienteilnehmenden mit studiertem Fach Physik .....	175
Tabelle 9.7:	Unangemessene Ansichten von Studienteilnehmenden ohne studiertes Fach Physik.....	176
Tabelle 9.8:	Korrelationen zwischen epistemischen Urteilen und Ansichten zu Nature of Science .....	179
Tabelle 9.9:	Vergleich exemplarischer Antworten offener Items bei ähnlichen epistemischen Urteilen .....	180
Tabelle 9.10:	Vergleich exemplarischer Antworten offener Items bei ähnlicher epistemischer Beurteilung.....	182
Tabelle 10.1:	Zusammensetzung der Stichprobe der Hauptstudie .....	193
Tabelle 10.2:	Reliabilitätsanalyse der Skalen (Hauptstudie).....	209
Tabelle 10.3:	Items zur Einschätzung des Kompetenzerwerbs durch Learning by Design (nach Paechter et al., 2007) - Erwerb von Mediennutzungskompetenzen (4-stufige Likertskala).....	210
Tabelle 10.4:	Items zur Einschätzung des Kompetenzerwerbs durch Learning by Design (nach Paechter et al., 2007) - Erwerb von Kompetenzen in der Wissensdomäne (4-stufige Likertskala).....	210
Tabelle 10.5:	Wissenschaftsverständnis: Deskriptive Statistik.....	211
Tabelle 10.6:	Kategoriensystem der Hauptstudie .....	215
Tabelle 10.7:	Häufigkeiten erfasster Ansichten beider Messzeitpunkte .....	218
Tabelle 10.8:	Exemplarische Antworten des ersten und zweiten Messzeitpunkts der Kategorien „Theorien & Gesetze“ und „Subjektivität/Theoriegebundenheit“ .....	220
Tabelle 10.9:	Skalenwerte epistemischer Urteile (CAEB) des ersten und zweiten Messzeitpunkts, getrennt nach Gruppen .....	228

Tabelle 10.10:	Skalenwerte Annahmen zur Ontologie (CAEB) des ersten und zweiten Messzeitpunkts, getrennt nach Gruppen.....	229
Tabelle 10.11:	Epistemische Urteile (TSEBQ) im Umgang mit einer Kontroversen, getrennt nach Gruppen.....	230
Tabelle 10.12:	Skalenwerte der quantitativ erhobenen Ansichten zu Nature of Science (nach VOSE).....	230
Tabelle 10.13:	Prä/Post-Differenzen.....	232
Tabelle 10.14:	Prä/Post-Differenzen nach Gruppen (mit/ohne inhaltlichem Bezug zur Intervention).....	234
Tabelle 10.15:	Gegenüberstellungen von Äußerungen der beiden Messzeitpunkte mit Bezügen zur Intervention im zweiten Messzeitpunkt.....	236
Tabelle 10.16:	Vergleich von Antworten offener Items zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften (Kategorie „Subjektivität/Theoriegebundenheit“).....	239
Tabelle 10.17:	Begründungen für positive Haltung gegenüber einem möglichen Einsatz von Learning by Design im eigenen Unterricht.....	242
Tabelle 10.18:	Begründungen für kritische Haltung gegenüber einem möglichen Einsatz von Learning by Design im eigenen Unterricht.....	243

## Anhang

Anhang I:	Fragebogen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik (Fassung der Pilotierung) .....	300
Anhang II:	Fragebogen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik (Fassung der Hauptstudie) .....	315
Anhang III:	Ergebnisse der Skalen- und Reliabilitätsanalysen - Pilotierung .....	323
Anhang IV:	Kategoriensystem zur Erfassung der Antworten der offenen Items .....	330
Anhang V:	Informationsquellen für die Interventionsmaßnahme der Hauptstudie .....	335
Anhang VI:	Deskriptivstatistische Kennwerte (Wissenschaftsverständnis) der Hauptstudie .....	337
Anhang VII:	Exemplarische Darstellung einzelner Informationsknoten der explorativen Phase .....	338
Anhang VIII:	Exemplarische Darstellung einzelner Informationsknoten der Hauptstudie .....	342
Anhang IX:	Interviewleitfaden „Wissenschaftsverständnis in Physik & Learning by Design“ .....	347
Anhang X:	Transkriptionsregeln für die ergänzenden Interviews .....	353
Anhang XI:	Anleitung zur Erstellung von Hyperlinks und verweissensitiver Abbildungen in MS PowerPoint .....	354

**Anhang I: Fragebogen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik (Fassung der Pilotierung)**

1. Was ist aus Ihrer Sicht Naturwissenschaft? Was unterscheidet Naturwissenschaft (oder eine ihrer Disziplinen, wie z.B. Physik) von Geisteswissenschaft (z.B. Philosophie, Theologie)?



Wissen in der **Physik** ist:

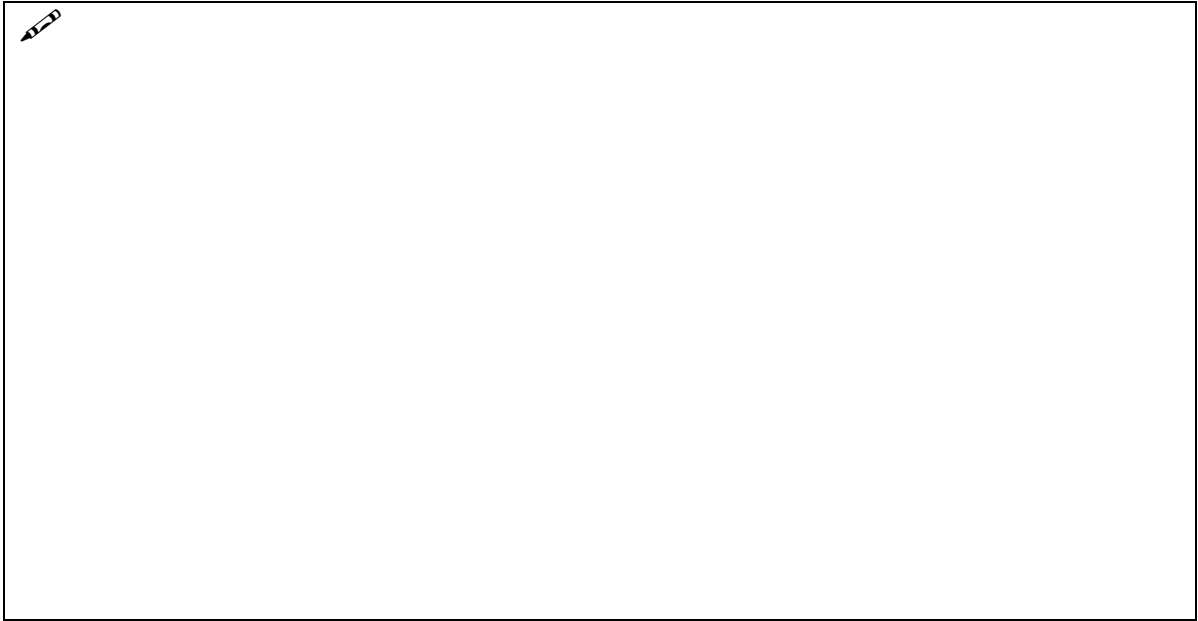
		1	2	3	4	5	6	7	
1	einfach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	komplex
2	stabil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	instabil
3	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
4	integriert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	segmentiert
5	beweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unbeweisbar
6	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
7	oberflächlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	tief
8	vergänglich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvergänglich
9	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
10	absolut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	relativ
11	geordnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungeordnet
12	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
13	flexibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inflexibel
14	eindeutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mehrdeutig
15	ausgehandelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	entdeckt
16	strukturiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unstrukturiert
17	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
18	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
19	offen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	abgeschlossen
20	verbunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	getrennt
21	akzeptiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	umstritten
22	sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unsicher
23	detailliert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	global
24	konstruiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vorhanden

Wissen in **Erziehungswissenschaft/Pädagogik** ist:

		1	2	3	4	5	6	7	
1	einfach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	komplex
2	stabil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	instabil
3	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
4	integriert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	segmentiert
5	beweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unbeweisbar
6	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
7	oberflächlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	tief
8	vergänglich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvergänglich
9	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
10	absolut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	relativ
11	geordnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungeordnet
12	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
13	flexibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inflexibel
14	eindeutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mehrdeutig
15	ausgehandelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	entdeckt
16	strukturiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unstrukturiert
17	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
18	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
19	offen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	abgeschlossen
20	verbunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	getrennt
21	akzeptiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	umstritten
22	sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unsicher
23	detailliert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	global
24	konstruiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vorhanden



## 2. Was ist ein Experiment?

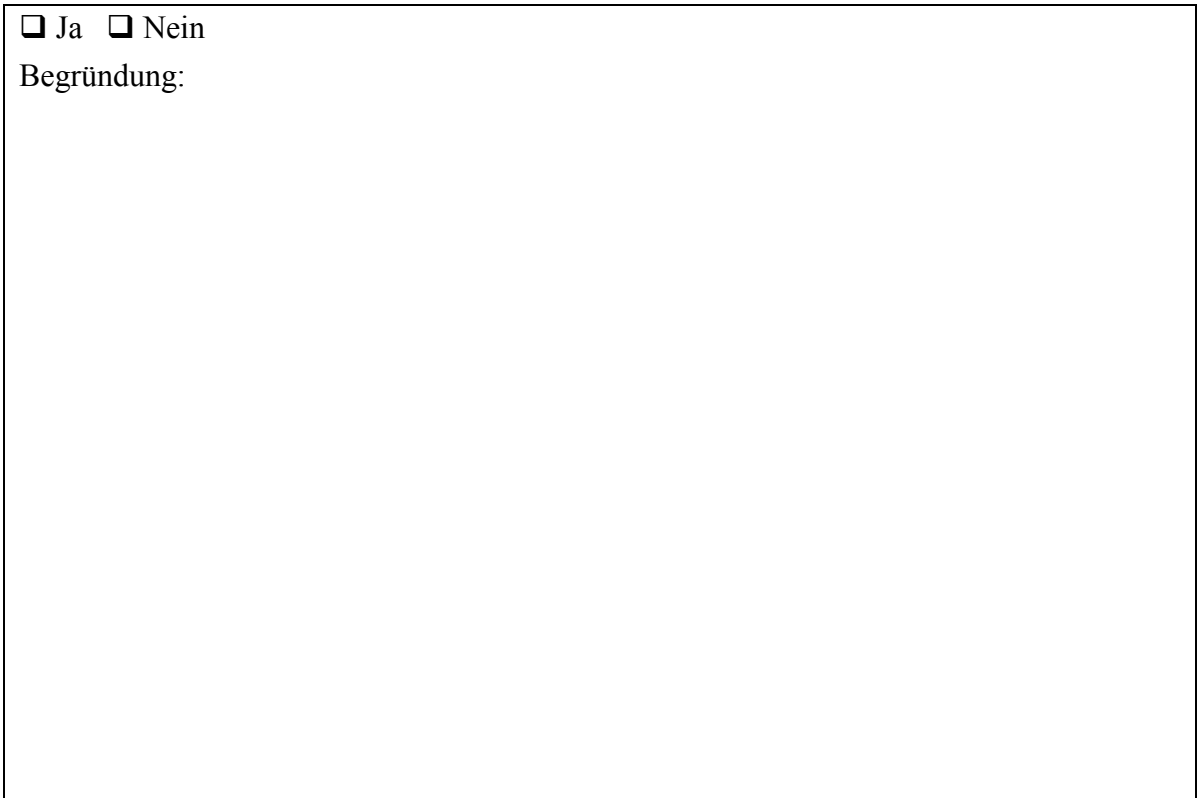


Braucht es Experimente, um Wissen in der Physik weiterzuentwickeln?

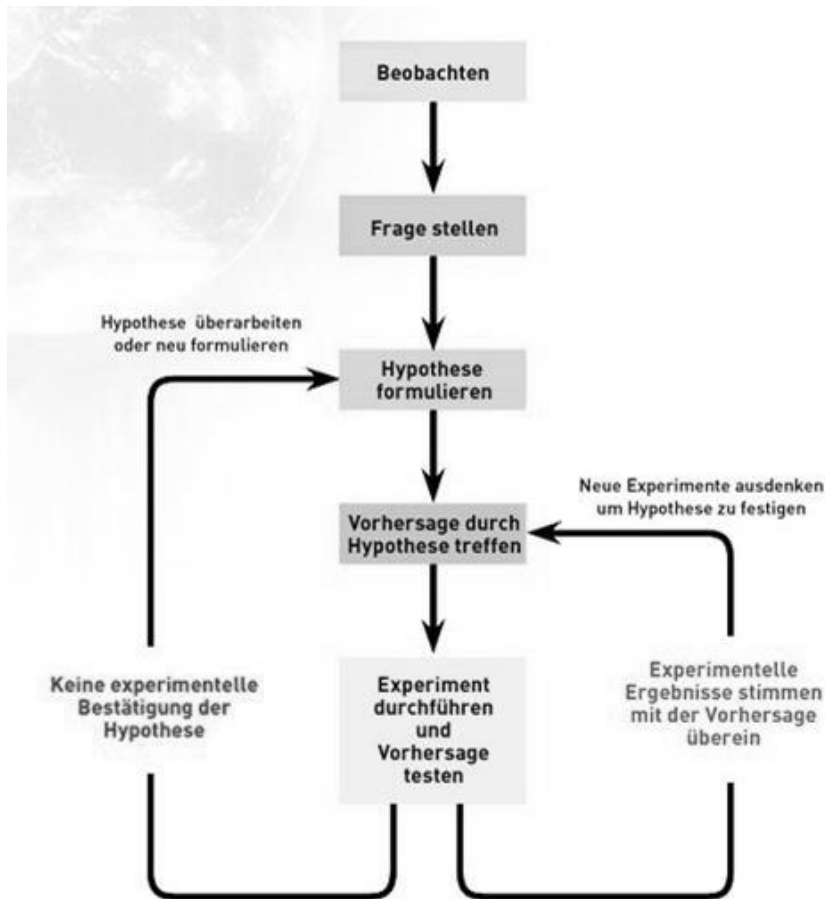
- Falls ja, bitte erklären Sie warum. Geben Sie ein Beispiel, um ihre Position zu begründen.
- Falls nein, bitte erklären Sie warum. Geben Sie ein Beispiel, um ihre Position zu begründen.

☐ Ja ☐ Nein

Begründung:



3. In Schulbüchern findet sich häufig die Darstellung, dass viele Physiker der universellen Methode Schritt für Schritt folgen (siehe Schaubild), um ihrer Forschung nachzugehen: (z.B. eine Hypothese formulieren, Forschungsdesign erstellen, Daten sammeln und Schlussfolgerungen ziehen).



Kreuzen Sie an, in welchem Maße Sie den Aussagen widersprechen oder zustimmen.

Die naturwissenschaftliche Methode sichert valide, klare, logische und genaue Ergebnisse. Deshalb folgen die meisten Physiker der universellen Forschungsmethode.

Die meisten Physiker nutzen die dargestellte Methode, weil sie eine logische Prozedur darstellt.

Die naturwissenschaftliche Methode ist in den meisten Fällen nützlich, aber sie garantiert keine Ergebnisse, deshalb entwickeln Physiker neue Methoden.

Es gibt nicht die alleinige naturwissenschaftliche Methode. Physiker nutzen alle möglichen Methoden, um Ergebnisse zu gewinnen.

Es gibt keine feste wissenschaftliche Methode, Wissen in der Physik kann zufälligerweise entdeckt werden.

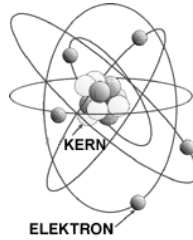
Egal wie die Ergebnisse gewonnen werden, Physiker nutzen die dargestellte wissenschaftliche Methode, um die Ergebnisse zu überprüfen.

ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*Fassung der Pilotierung*

(negativ geladene Teilchen), die den Kern umkreisen.

ern, der sich aus Protonen (positiv  
zusammensetzt und Elektronen



Wie sicher sind sich Physiker über die Struktur von Atomen? Was glauben Sie, welche spezifischen Hinweise oder Arten von Hinweisen Wissenschaftler nutzten, um das Aussehen von Atomen zu bestimmen?

**Das Wissen über die Struktur von Atomen ist...**

		1	2	3	4	5	6	7	
1	stabil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	instabil
2	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
3	beweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unbeweisbar
4	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
5	vergänglich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvergänglich
6	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
7	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
8	ausgehandelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	entdeckt
9	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
10	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
11	akzeptiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	umstritten
12	sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unsicher
13	konstruiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vorhanden

5. Gibt es Unterschiede zwischen physikalischen Theorien und physikalischen Gesetzen? Illustrieren Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.

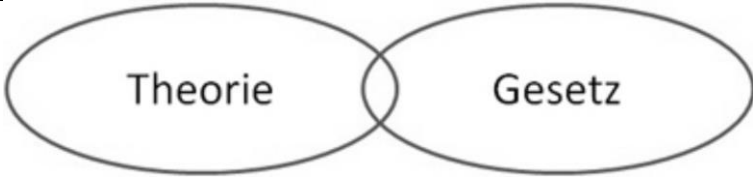
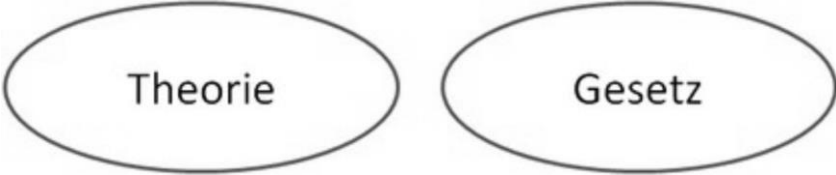
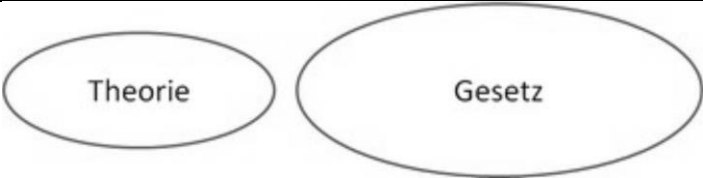
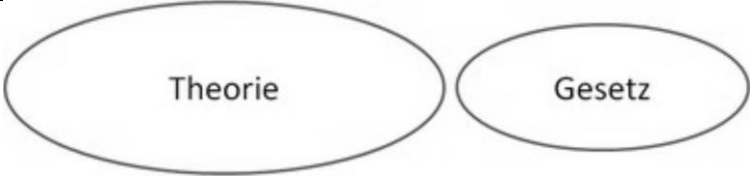
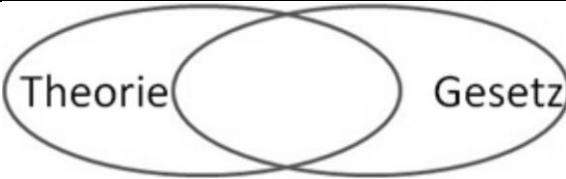
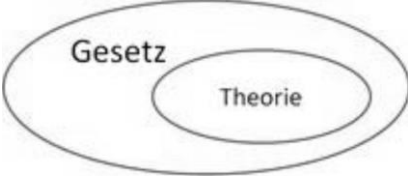
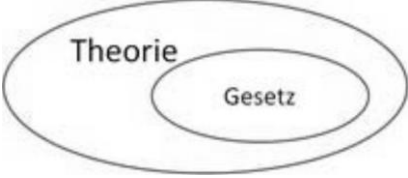


Stimmen Sie der folgenden Aussage zu?

„Im Vergleich zu Naturgesetzen haben physikalische Theorien weniger Evidenz.“

	ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
Ja, Theorien sind nicht genauso exakt wie Gesetze.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ja, wenn eine Theorie vielen Überprüfungen standhält, wird sie möglicherweise zum Gesetz. Demzufolge hat ein Gesetz mehr stützende Evidenz.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nicht ganz, einige Theorien haben mehr unterstützende Evidenz als manch ein Gesetz.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nein, Theorien und Gesetze sind unterschiedliche Arten von Konstrukten. Sie können nicht verglichen werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Betrachten Sie die Venn-Diagramme. Wählen Sie das Diagramm, dass das Verhältnis zwischen physikalischer Theorie und Naturgesetz aus Ihrer Sicht am treffendsten darstellt.

<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	

**Physikalische Theorien sind...**

		1	2	3	4	5	6	7	
1	stabil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	instabil
2	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
3	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
4	vergänglich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvergänglich
5	ausgehandelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	entdeckt
6	akzeptiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	umstritten

**Physikalische Gesetze sind ...**

		1	2	3	4	5	6	7	
1	stabil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	instabil
2	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
3	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
4	vergänglich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvergänglich
5	ausgehandelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	entdeckt
6	akzeptiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	umstritten

Wenn Physiker eine Theorie entwickelt haben (z.B. Theorie des Atoms, Wellentheorie), ändert sich diese Theorie dann jemals?

- Wenn Sie glauben, dass sich Theorien in der Physik nicht verändern, erklären Sie warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.
- Wenn Sie glauben, dass sich Theorien in der Physik verändern, erklären Sie warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.

☐ Ich glaube, dass sich Theorien in der Physik nicht verändern.

☐ Ich glaube, dass sich Theorien in der Physik verändern.

Begründung:



6. Schulbücher beschreiben Energie als etwas, das die Fähigkeit besitzt, Arbeit zu verrichten. Energie kann umgewandelt, transportiert, gespeichert und verbraucht werden.


**Wie sicher sind sich Physiker über die Beschreibung dessen, was Energie ist?**

**Begründen Sie Ihre Meinung.**



A large empty rectangular box for writing an answer to the question about the certainty of physicists' description of energy.

**Was glauben Sie, welche spezifischen Hinweise Physiker nutzen, um festzulegen, was Energie ist?**



A large empty rectangular box for writing an answer to the question about specific hints physicists use to define energy.

7. Physiker führen Experimente/ Untersuchungen durch, um Antworten auf zuvor gestellte Fragen zu finden. Es existiert die Ansicht, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft während Ihrer Forschungen nutzen. Andere Meinungen besagen, dass Vorstellungskraft und Kreativität nicht zur Forschung in der Physik gehören. <b>Sind Vorstellungskraft und Kreativität Ihrer Meinung nach wichtig für Forschung in der Physik?</b>	ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
Ja. Vorstellungskraft und Kreativität sind die hauptsächlichen Quellen von Innovationen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ja. Physiker gebrauchen mehr oder weniger ihre Vorstellungskraft und Kreativität in wissenschaftlicher Forschung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nein. Vorstellungskraft und Kreativität sind keine Bestandteile der logischen Prinzipien der Physik.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nein. Jedoch könnten Vorstellungskraft und Kreativität dann für einen Physiker notwendig werden, wenn er seine Argumente um jeden Preis belegen will.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nein. Denn Vorstellungskraft und Kreativität fehlt es an Reliabilität/Verlässlichkeit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- **Falls Sie eher glauben**, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft nutzen, was denken Sie, wann und wo im Forschungsprozess Vorstellungskraft und Kreativität eine Rolle spielen. Geben Sie wenn möglich ein Beispiel.
- **Falls Sie eher nicht glauben**, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft nutzen, bitte erklären Sie warum. Nennen Sie wenn möglich ein Beispiel.

☐ Ich glaube eher, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft im Forschungsprozess nutzen.

☐ Ich glaube eher nicht, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft im Forschungsprozess nutzen.





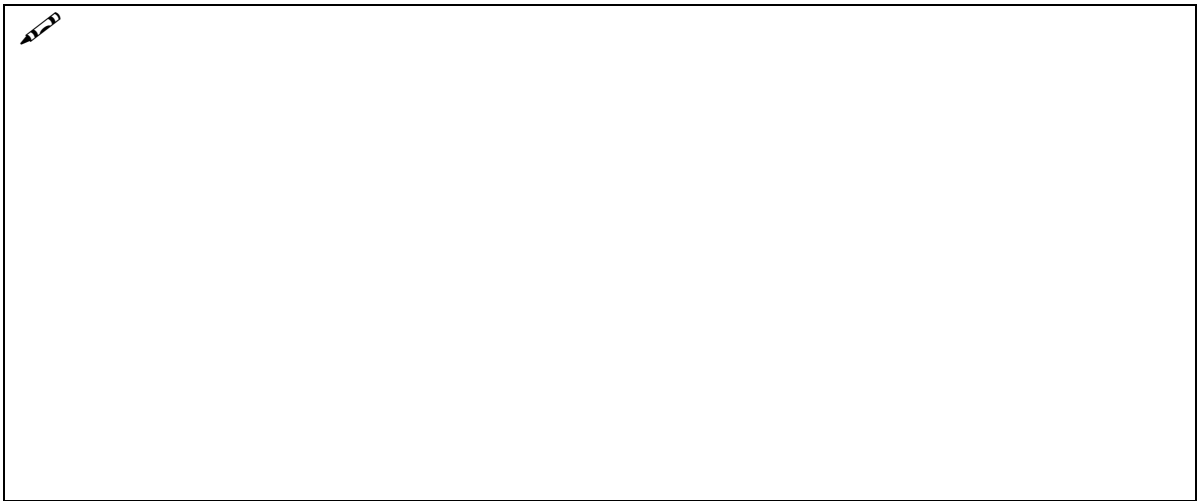
**8. Der Urknall: Hat er stattgefunden?**

Von den von Astrophysikern formulierten Hypothesen zur Entwicklung und zum Zustand des Universums wurden in der Mitte des letzten Jahrhunderts besonders zwei intensiv diskutiert.

Die erste, formuliert von einer Wissenschaftlergruppe, legt nahe, dass vor ca. 13,7 Milliarden Jahren Materie, Raum und Zeit aus einer ursprünglichen Singularität entstanden sind und seither das Universum expandiert ("Urknalltheorie").

Die zweite Hypothese, formuliert von einer anderen Gruppe von Wissenschaftlern, legt nahe, dass das Universum keinen Anfang hat und seit jeher besteht (Steady State Theory und Quasi Steady State Theory). Im Wesentlichen basieren beide Theorien auf drei Beobachtungen: der Elementhäufigkeit im Kosmos (75 % Wasserstoff, 24 % Helium etc.), dem Mikrowellenhintergrund (2,73 Kelvin) und der Rotverschiebung der Spektrallinien.

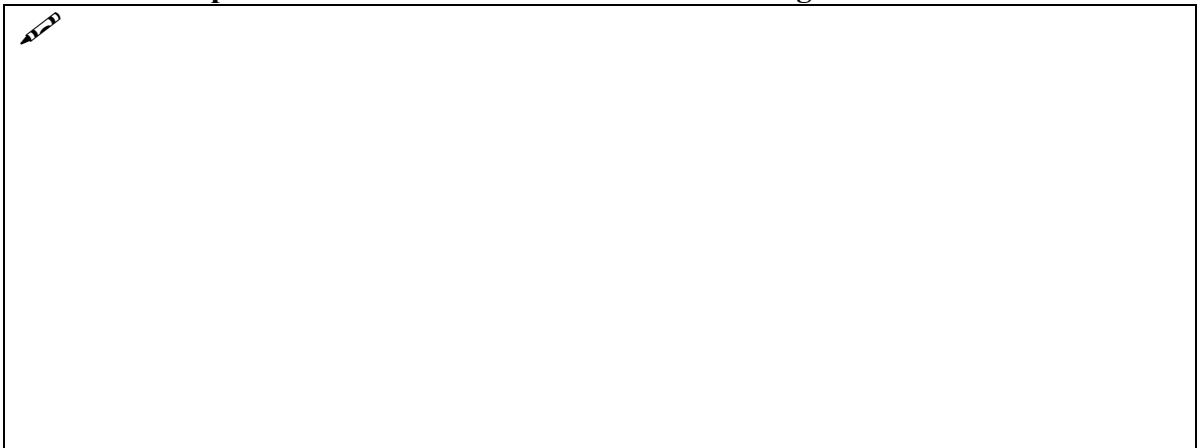
**Wie erklären Sie es sich, dass beide Gruppen zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, obwohl sie im Wesentlichen das Gleiche beobachten?**




**Was denken Sie persönlich?**

- ☐ Das Universum entstand vor ca. 13.7 Millionen Jahren aus einer ursprünglichen Singularität („Urknalltheorie“).
- ☐ Das Universum hat keinen Anfang und besteht somit seit jeher.
- ☐ Ich habe eine andere Vorstellung von der Entstehung bzw. des Zustands des Universums.

**Woher haben Sie persönlich Kenntnisse über die Entwicklung/ Zustand des Universums?**



**Angenommen, Sie möchten möglichst sicheres Wissen über die Entwicklung des Universums erhalten, wie gehen Sie vor?**



**Kreuzen Sie an, in welchem Maße Sie den Aussagen zum Wissen über Zustand und Entwicklung des Universums widersprechen oder zustimmen.**

	ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
Was heute als gesichertes Wissen über Zustand und Entwicklung des Universums gilt, könnte morgen schon als falsch angesehen werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Ergebnisse zur Entwicklung und Zustand des Universums sind vorläufig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Theorien zur Entwicklung und zum Zustand des Universums könnten jederzeit widerlegt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Um zu überprüfen, ob das, was ich über die Entwicklung/ den Zustand des Universums gelesen habe, verlässlich ist, vergleiche ich es im Vergleich zu anderen Dingen aus, die ich gelernt habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich über Angelegenheiten lese, die mit der Entwicklung/dem Zustand des Universums zu tun haben, versuche ich, mein eigenes Verständnis der Inhalte zu bilden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Um einen echten Einblick in die Sachlage zur Entwicklung /dem Zustand des Universums zu erhalten, muss man sich seine eigene Meinung zu dem, was man gelesen hat, bilden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe oft das Gefühl, dass ich einfach akzeptieren muss, dass ich dem vertrauen kann, was ich über die Entwicklung/den Zustand des Universums lese.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich etwas zum Thema „Entwicklung/ Zustand des Universums“ lese, ist die Meinung des Autors wichtiger als meine eigene.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine persönlichen Urteile zur Entwicklung des Universums haben wenig Wert im Vergleich zu dem, was ich darüber aus Büchern und Artikeln lernen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Es existiert die Ansicht, dass die Naturwissenschaften von sozialen und kulturellen Werten durchdrungen seien. Das heißt, die Naturwissenschaften reflektieren die sozialen und politischen Werte, philosophische Annahmen und intellektuelle Normen einer Kultur, in welcher sie praktiziert werden. Eine andere Ansicht besagt, dass die Naturwissenschaften universell seien. Das heißt, die Naturwissenschaften gehen über nationale und kulturelle Grenzen hinaus und werden nicht durch soziale, politische und philosophische Werte und intellektuelle Normen der Kultur in welcher sie praktiziert werden, beeinflusst.

**Beeinflussen soziokulturelle Werte die Naturwissenschaften? Welcher Meinung sind Sie?**

	ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
Ja, soziokulturelle Werte beeinflussen die Richtung und Themen naturwissenschaftlicher Untersuchungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ja, denn Naturwissenschaftler, die in wissenschaftlichen Untersuchungen teilhaben, unterliegen soziokulturellen Einflüssen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nein, Naturwissenschaftler mit guter Ausbildung bleiben wertfrei, wenn sie forschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nein, denn die Naturwissenschaften benötigen Objektivität, welche konträr zu den subjektiven soziokulturellen Werten steht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>


- Wenn Sie eher glauben, dass die Naturwissenschaften soziale und kulturelle Werte reflektieren, dann erklären Sie, wie und warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.
- Wenn Sie eher glauben, dass die Naturwissenschaften universell sind, erklären Sie, warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.



**10. Werden physikalische Gesetze/Naturgesetze (z.B. Gravitationsgesetz) von Physikern in der natürlichen Welt „entdeckt“ oder von Physikern „erfunden“?**

	ich widerspreche	ich widerspreche	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
Entdeckt, denn physikalische Gesetze sind in der Natur vorhanden und Forscher müssen sie nur entdecken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entdeckt, denn physikalische Gesetze beruhen auf experimentellen Fakten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manche Physiker entdecken ein Gesetz zufälligerweise, andere dagegen erfinden ein Gesetz auf Basis der ihnen bekannten Fakten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erfunden, denn Physiker erfinden Gesetze, um entdeckte Fakten, die aus Experimenten stammen, zu interpretieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erfunden. Denn seit es in der Natur nichts mehr Absolutes gibt, erfinden Physiker physikalische Gesetze.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- Wenn Sie eher glauben, dass Naturgesetze in der Physik eher erfunden werden, dann erklären Sie, warum. Belegen Sie ihre Antwort mit einem Beispiel:
- Wenn Sie eher glauben, dass Naturgesetze in der Physik eher entdeckt werden, dann erklären Sie warum. Belegen Sie ihre Antwort mit einem Beispiel:



**11. Werden Theorien in der Physik (z.B. Relativitätstheorie, Atomtheorie) von Physikern in der natürlichen Welt „entdeckt“ oder von Physikern „erfunden“?**

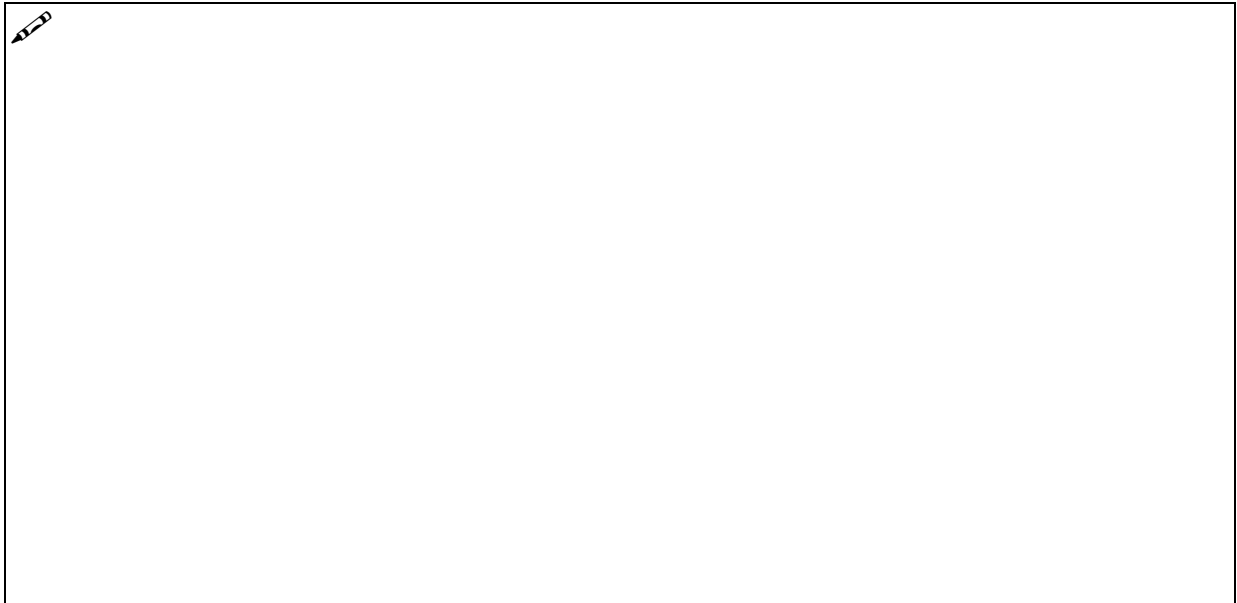
	ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
Entdeckt, denn die Ideen waren schon immer vorhanden, um entdeckt zu werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entdeckt, denn Theorien beruhen auf experimentelle Fakten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manche Forscher entdecken eine Theorie zufällig, andere dagegen erfinden eine Theorie aus den ihnen bekannten Fakten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erfunden, denn eine Theorie ist eine Interpretation experimenteller Fakten und experimentelle Fakten werden durch Wissenschaftler entdeckt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erfunden, denn eine Theorie wird von Naturwissenschaftlern geschaffen oder ausgearbeitet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erfunden, denn eine Theorie kann widerlegt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- Wenn Sie eher glauben, dass Theorien in der Physik eher erfunden werden, dann erklären Sie, warum. Belegen Sie ihre Antwort mit einem Beispiel:
- Wenn Sie eher glauben, dass Theorien in der Physik eher entdeckt werden, dann erklären Sie warum. Belegen Sie ihre Antwort mit einem Beispiel:



## Anhang II: Fragebogen zur Erhebung des Wissenschaftsverständnisses in Physik (Fassung der Hauptstudie)

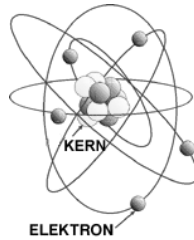
1. Was ist aus Ihrer Sicht Naturwissenschaft? Was unterscheidet Naturwissenschaft (oder eine ihrer Disziplinen, wie z.B. Physik) von Geisteswissenschaft (z.B. Philosophie, Theologie)?



2. Wissen in der **Physik** ist:

		1	2	3	4	5	6	7	
1	einfach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	komplex
2	stabil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	instabil
3	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
4	integriert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	segmentiert
5	beweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unbeweisbar
6	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
7	oberflächlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	tief
8	vergänglich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvergänglich
9	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
10	absolut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	relativ
11	geordnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungeordnet
12	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
13	flexibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inflexibel
14	eindeutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mehrdeutig
15	ausgehandelt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	entdeckt
16	strukturiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unstrukturiert
17	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
18	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
19	offen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	abgeschlossen
20	verbunden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	getrennt
21	akzeptiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	umstritten
22	sicher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unsicher
23	detailliert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	global
24	konstruiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	vorhanden

3. Schulbücher zeigen das Atom oft als einen zentralen Kern, der sich aus Protonen (positiv geladene Teilchen) und Neutronen (neutrale Teilchen) zusammensetzt und Elektronen (negativ geladene Teilchen), die den Kern umkreisen.



Wie sicher sind sich Physiker über die Struktur von Atomen? Was glauben Sie, welche spezifischen Hinweise oder Arten von Hinweisen Wissenschaftler nutzten, um das Aussehen von Atomen zu bestimmen?



### Das Wissen über die Struktur von Atomen ist...

		1	2	3	4	5	6	7	
1	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
2	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
3	unbeweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	beweisbar
4	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
5	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
6	geordnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungeordnet
7	absolut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	relativ
8	flexibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inflexibel
9	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
10	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
11	offen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	abgeschlossen
12	mehrdeutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	eindeutig
13	strukturiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unstrukturiert

4. Physiker führen Experimente/ Untersuchungen durch, um Antworten auf zuvor gestellte Fragen zu finden. Es existiert die Ansicht, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft während Ihrer Forschungen nutzen. Andere Meinungen besagen, dass Vorstellungskraft und Kreativität nicht zur Forschung in der Physik gehören.

**Sind Vorstellungskraft und Kreativität Ihrer Meinung nach wichtig für Forschung in der Physik?**

	ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
<b>Ja. Vorstellungskraft und Kreativität sind die hauptsächlichen Quellen von Innovationen.</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Ja. Physiker gebrauchen mehr oder weniger ihre Vorstellungskraft und Kreativität in wissenschaftlicher Forschung.</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Nein. Vorstellungskraft und Kreativität sind keine Bestandteile der logischen Prinzipien der Physik.</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Nein. Jedoch könnten Vorstellungskraft und Kreativität dann für einen Physiker notwendig werden, wenn er seine Argumente um jeden Preis belegen will.</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Nein. Denn Vorstellungskraft und Kreativität fehlt es an Reliabilität/Verlässlichkeit.</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- **Falls Sie eher glauben**, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft nutzen, was denken Sie, wann und wo im Forschungsprozess Vorstellungskraft und Kreativität eine Rolle spielen. Geben Sie, wenn möglich, ein Beispiel.
- **Falls Sie eher nicht glauben**, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft nutzen, bitte erklären Sie warum. Nennen Sie, wenn möglich, ein Beispiel.

- ☐ Ich glaube eher, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft im Forschungsprozess nutzen.  
☐ Ich glaube eher nicht, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft im Forschungsprozess nutzen.





**5. Physikalische Gesetze (z.B. Fallgesetze, Ohmsches Gesetz) sind ...**

		1	2	3	4	5	6	7	
1	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
2	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
3	unbeweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	beweisbar
4	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
5	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
6	geordnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungeordnet
7	absolut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	relativ
8	flexibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inflexibel
9	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
10	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
11	offen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	abgeschlossen
12	mehrdeutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	eindeutig
13	strukturiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unstrukturiert

**Physikalische Theorien (z.B. Relativitätstheorie, Wellentheorie) sind...**


		1	2	3	4	5	6	7	
1	genau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungenau
2	objektiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	subjektiv
3	unbeweisbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	beweisbar
4	dynamisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	statisch
5	exakt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	diffus
6	geordnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ungeordnet
7	absolut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	relativ
8	flexibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inflexibel
9	fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unvollständig
10	widerlegbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unwiderlegbar
11	offen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	abgeschlossen
12	mehrdeutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	eindeutig
13	strukturiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unstrukturiert

**Wenn Physiker eine Theorie entwickelt haben (z.B. Theorie des Atoms, Wellentheorie), ändert sich diese Theorie dann jemals?**

- Wenn Sie glauben, dass sich Theorien in der Physik nicht verändern, erklären Sie warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.
- Wenn Sie glauben, dass sich Theorien in der Physik verändern, erklären Sie warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.

☐ Ich glaube eher, dass sich Theorien in der Physik nicht verändern.

☐ Ich glaube eher, dass sich Theorien in der Physik verändern.

Begründung: 

### 6. Der Urknall: Hat er stattgefunden?

Von den von Astrophysikern formulierten Hypothesen zur Entwicklung und zum Zustand des Universums wurden in der Mitte des letzten Jahrhunderts besonders zwei intensiv diskutiert.

Die erste, formuliert von einer Wissenschaftlergruppe, legt nahe, dass vor ca. 13,7 Milliarden Jahren Materie, Raum und Zeit aus einer ursprünglichen Singularität entstanden sind und seither das Universum expandiert ("Urknalltheorie").

Die zweite Hypothese, formuliert von einer anderen Gruppe von Wissenschaftlern, legt nahe, dass das Universum keinen Anfang hat und seit jeher besteht (Steady State Theory und Quasi Steady State Theory). Im Wesentlichen basieren beide Theorien auf drei Beobachtungen: der Elementhäufigkeit im Kosmos (75 % Wasserstoff, 24 % Helium etc.), dem Mikrowellenhintergrund (2,73 Kelvin) und der Rotverschiebung der Spektrallinien.

**Wie erklären Sie es sich, dass beide Gruppen zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, obwohl sie im Wesentlichen das Gleiche beobachten?**



### Was denken Sie persönlich?

- ☐ Das Universum entstand vor ca. 13,7 Millionen Jahren aus einer ursprünglichen Singularität („Urknalltheorie“).
- ☐ Das Universum hat keinen Anfang und besteht somit seit jeher.
- ☐ Ich habe eine andere Vorstellung von der Entstehung bzw. des Zustands des Universums.

### Woher haben Sie persönlich Kenntnisse über die Entwicklung/ Zustand des Universums?

- ☐ Fernsehdokumentationen
- ☐ Zeitungsberichte
- ☐ populärwissenschaftliche Texte
- ☐ fachwissenschaftliche Texte
- ☐ Planetarium
- ☐ Schule
- ☐ Studium
- ☐ durch persönlichen Kontakt zu Experten
- ☐ Internet

andere Quellen: \_\_\_\_\_

Kreuzen Sie an, in welchem Maße Sie den Aussagen zum Wissen über Zustand und Entwicklung des Universums widersprechen oder zustimmen.	ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
Was heute als gesichertes Wissen über Zustand und Entwicklung des Universums gilt, könnte morgen schon als falsch angesehen werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Um Behauptungen zu Entwicklung/Zustand des Universums in Texten trauen zu können, muss man verschiedene Wissensquellen überprüfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wissen zum Thema „Entwicklung und Zustand des Universums“ verändern sich ständig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fühle mich bezüglich Entwicklung/Zustand des Universums auf „sicherem Boden“, wenn ich eine Expertenmeinung finde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Um zu überprüfen, ob das, was ich über die Entwicklung/den Zustand des Universums gelesen habe, verlässlich ist, werte ich es im Vergleich zu anderen Dingen aus, die ich zum Thema gelernt habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich etwas über Entwicklung/Zustand des Universums lese, versuche ich, mein eigenes Verständnis zu den Inhalten zu bilden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Probleme innerhalb der Forschung zu Entwicklung und Zustand des Universums haben keine klare und eindeutige Lösung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Um einen echten Einblick in die Sachlage zu Entwicklung/dem Zustand des Universums zu erhalten, muss man sich seine eigene Meinung zu dem Gelesenen bilden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Theorien zu Entwicklung/Zustand des Universums könnten jederzeit widerlegt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich etwas über Zustand/Entwicklung des Universums lese, überprüfe ich, ob der Inhalt logisch erscheint.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe oft das Gefühl, dass ich einfach akzeptieren muss, dass ich dem vertrauen kann, was ich über die Entwicklung/den Zustand des Universums lese.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Ergebnisse zur Entwicklung und Zustand des Universums sind vorläufig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich etwas zum Thema „Entwicklung/Zustand des Universums“ lese, ist die Meinung des Autors wichtiger als meine eigene.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine persönlichen Urteile zur Entwicklung des Universums haben wenig Wert im Vergleich zu dem, was ich darüber aus Büchern und Artikeln lernen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Es existiert die Ansicht, dass die Naturwissenschaften von sozialen und kulturellen Werten durchdrungen seien. Das heißt, die Naturwissenschaften reflektieren die sozialen und politischen Werte, philosophische Annahmen und intellektuelle Normen einer Kultur, in welcher sie praktiziert werden. Eine andere Ansicht besagt, dass die Naturwissenschaften universell seien. Das heißt, die Naturwissenschaften gehen über nationale und kulturelle Grenzen hinaus und werden nicht durch soziale, politische und philosophische Werte und intellektuelle Normen der Kultur, in welcher sie praktiziert werden, beeinflusst.

**Beeinflussen soziokulturelle Werte die Naturwissenschaften? Welcher Meinung sind Sie?**

	ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
<b>Ja, soziokulturelle Werte beeinflussen die Richtung und Themen naturwissenschaftlicher Untersuchungen.</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Ja, denn Naturwissenschaftler, die in wissenschaftlichen Untersuchungen teilhaben, unterliegen soziokulturellen Einflüssen.</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Nein, Naturwissenschaftler mit guter Ausbildung bleiben wertfrei, wenn sie forschen.</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Nein, denn die Naturwissenschaften benötigen Objektivität, welche konträr zu den subjektiven soziokulturellen Werten steht.</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- Wenn Sie eher glauben, dass die Naturwissenschaften soziale und kulturelle Werte reflektieren, dann erklären Sie, wie und warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.
- Wenn Sie eher glauben, dass die Naturwissenschaften universell sind, erklären Sie, warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.

- ☐ Ich glaube eher, dass soziale und kulturelle Werte die Naturwissenschaften beeinflussen.
- ☐ Ich glaube eher nicht, dass soziale und kulturelle Werte die Naturwissenschaften beeinflussen.



**8. Werden Theorien in der Physik (z.B. Relativitätstheorie, Atomtheorie) von Physikern in der natürlichen Welt „entdeckt“ oder von Physikern „erfunden“?**

	ich widerspreche	ich widerspreche teilweise	Ich stimme teilweise zu	Ich stimme zu
Entdeckt, denn die Ideen waren schon immer vorhanden, um entdeckt zu werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entdeckt, denn Theorien beruhen auf experimentellen Fakten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erfunden, denn eine Theorie ist eine Interpretation experimenteller Fakten und experimentelle Fakten werden durch Wissenschaftler entdeckt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erfunden, denn eine Theorie wird von Naturwissenschaftlern geschaffen oder ausgearbeitet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erfunden, denn eine Theorie kann widerlegt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- Wenn Sie eher glauben, dass Theorien in der Physik erfunden werden, dann erklären Sie, warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel:
- Wenn Sie eher glauben, dass Theorien in der Physik entdeckt werden, dann erklären Sie warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel:

- ☐ Ich glaube eher, dass Theorien in der Physik erfunden werden.
- ☐ Ich glaube eher, dass Theorien in der Physik entdeckt werden.



**Anhang III: Ergebnisse der Skalen- und Reliabilitätsanalysen - Pilotierung**

CAEB: Epistemische Urteile zu Wissen in der Physik - Dimension Textur  
(siebenstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>genau - ungenau</b>	2.32	1.07	0.34	.73
<b>objektiv - subjektiv</b>	2.15	1.19	0.31	.53
<b>beweisbar - unbeweisbar</b>	2.44	1.34	0.35	.53
<b>exakt - diffus</b>	3.52	1.52	0.50	.67
<b>geordnet - ungeordnet</b>	2.37	1.23	0.34	.70
<b>absolut - relativ</b>	3.52	1.52	0.33	.59
<b>eindeutig - mehrdeutig</b>	2.85	1.41	0.41	.61
<b>strukturiert - unstrukturiert</b>	2.22	0.95	0.32	.46
<b>Skala</b>	<b>2.53</b>	<b>1.25</b>	<b>.36</b>	<b><math>\alpha = .86</math></b>

CAEB: Epistemische Urteile zu Wissen in der Physik - Dimension Variabilität  
(siebenstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>offen – abgeschlossen (r)</b>	4.93	1.51	.70	.64
<b>widerlegbar – unwiderlegbar (r)</b>	4.38	1.59	.63	.50
<b>dynamisch – statisch (r)</b>	4.54	1.61	.65	.45
<b>flexibel - inflexibel(r)</b>	3.91	1.48	.56	.44
<b>fertig - unvollständig</b>	4.87	1.56	.70	.46
<b>Skala</b>	<b>4.53</b>	<b>1.55</b>	<b>.65</b>	<b><math>\alpha = .74</math></b>

CAEB: Epistemische Urteile zu Wissen in den Erziehungswissenschaften - Dimension Textur  
(siebenstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>i</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>genau - ungenau</b>	4.56	1.22	.65	.65
<b>objektiv - subjektiv</b>	5.36	1.24	.77	.29
<b>beweisbar/unbeweisbar</b>	4.88	1.28	.70	.39
<b>exakt - diffus</b>	5.05	1.11	.72	.64
<b>geordnet/ungeordnet</b>	4.38	1.41	.63	.69
<b>absolut - relativ</b>	5.39	1.06	.77	.46
<b>eindeutig - mehrdeutig</b>	5.45	1.22	.78	.48
<b>strukturiert - unstrukturiert</b>	4.12	1.32	.59	.58
<b>Skala</b>	<b>4.90</b>	<b>1.23</b>	<b>.70</b>	<b><math>\alpha = .80</math></b>

CAEB: Epistemische Urteile zu Wissen in den Erziehungswissenschaften - Dimension Variabilität (siebenstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>i</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>offen – abgeschlossen (r)</b>	5.71	1.13	.82	.55
<b>widerlegbar – unwiderlegbar (r)</b>	5.18	1.30	.74	.44
<b>dynamisch – statisch (r)</b>	5.68	1.23	.81	.33
<b>flexibel – inflexibel (r)</b>	5.46	1.08	.78	.50
<b>fertig - unvollständig</b>	5.62	1.06	.80	.39
<b>Skala</b>	<b>5.53</b>	<b>1.16</b>	<b>.79</b>	<b><math>\alpha = .69</math></b>

Ansichten zur naturwissenschaftlichen Methode (vierstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>i</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>Die naturwissenschaftliche Methode sichert valide, klare, logische und genaue Ergebnisse. Deshalb folgen die meisten Physiker der universellen Forschungsmethode. (r)</b>	1.86	0.76	.46	.47
<b>Die meisten Physiker nutzen die dargestellte Methode, weil sie eine logische Prozedur darstellt. (r)</b>	1.58	0.67	.39	.32
<b>Die naturwissenschaftliche Methode ist in den meisten Fällen nützlich, aber sie garantiert keine Ergebnisse. Deshalb entwickeln Physiker neue Methoden</b>	3.04	0.81	.76	.33
<b>Es gibt nicht die alleinige naturwissenschaftliche Methode. Physiker nutzen alle möglichen Methoden, um Ergebnisse zu gewinnen.</b>	3.24	0.82	.81	.37
<b>Es gibt keine feste wissenschaftliche Methode, Wissen in der Physik kann zufälligerweise entdeckt werden.</b>	3.11	0.86	.78	.22
<b>Egal wie die Ergebnisse gewonnen werden, Physiker nutzen die dargestellte wissenschaftliche Methode, um die Ergebnisse zu überprüfen. (r)</b>	1.99	0.97	.50	.14
<b>Skala</b>	<b>2.47</b>	<b>0.82</b>	<b>.62</b>	<b><math>\alpha = .56</math></b>

**Anmerkung:** Items wurden aufgrund der unbefriedigenden Trennschärfe und unbefriedigender Reliabilität der sich ergebenden Skala nicht für die Auswertung der Vorstudie berücksichtigt und auch nicht in den Fragebogen der Vorstudie aufgenommen.

CAEB: Epistemische Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen (Dimension Textur)  
(siebenstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>i</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>genau - ungenau</b>	3.59	1.34	.51	.76
<b>objektiv - subjektiv</b>	3.50	1.40	.50	.54
<b>beweisbar - unbeweisbar</b>	3.50	1.52	.50	.65
<b>exakt - diffus</b>	3.74	1.37	.53	.80
<b>Skala</b>	<b>3.58</b>	<b>1.41</b>		<b><math>\alpha = .85</math></b>

**Anmerkung:** Für die Auswertung der Vorstudie wurden die Skalenwerte für die Dimension Textur der epistemischen Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen auf Basis von vier Items berechnet.

CAEB: Epistemische Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen – Dimension Variabilität (siebenstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>i</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>widerlegbar – unwiderlegbar (r)</b>	4.49	1.41	.64	.53
<b>dynamisch – statisch (r)</b>	4.68	1.43	.67	.46
<b>fertig - unvollständig</b>	4.73	1.57	.68	.60
<b>Skala</b>	<b>4.64</b>	<b>1.47</b>	<b>.66</b>	<b><math>\alpha = .71</math></b>

**Anmerkung:** Für die Auswertung der Vorstudie wurden die Skalenwerte für die Dimension Variabilität der epistemischen Urteile zum Wissen über die Struktur von Atomen auf Basis von drei Items berechnet.



Unterschied Theorie – Gesetz -  
(vierstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>Ja, Theorien sind nicht genauso exakt wie Gesetze. (r)</b>	2.30	1.03	.58	.32
<b>Ja, wenn eine Theorie vielen Überprüfungen standhält, wird sie möglicherweise zum Gesetz. Demzufolge hat ein Gesetz mehr stützende Evidenz. (r)</b>	1.89	0.89	.47	.43
<b>Nicht ganz, einige Theorien haben mehr unterstützende Evidenz als manch ein Gesetz.</b>	2.23	0.84	.56	.18
<b>Nein, Theorien und Gesetze sind unterschiedliche Arten von Konstrukten. Sie können nicht verglichen werden.</b>	2.47	0.97	.62	.20
<b>Skala</b>	<b>2.22</b>	<b>0.93</b>	<b>.56</b>	<b><math>\alpha = .48</math></b>

**Anmerkung:** Items wurden aufgrund der unbefriedigenden Trennschärfe und unbefriedigender Reliabilität der sich ergebenden Skala nicht für die Auswertung der Vorstudie berücksichtigt und auch nicht in den Fragebogen der Vorstudie aufgenommen.

Kreativität & Vorstellungskraft  
(vierstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>Ja. Vorstellungskraft und Kreativität sind die hauptsächlichen Quellen von Innovationen.</b>	3.50	0.69	.88	.51
<b>Ja. Physiker gebrauchen mehr oder weniger ihre Vorstellungskraft und Kreativität in wissenschaftlicher Forschung.</b>	3.47	0.64	.87	.43
<b>Nein. Vorstellungskraft und Kreativität sind keine Bestandteile der logischen Prinzipien der Physik. (r)</b>	3.61	0.66	.90	.64
<b>Nein. Jedoch könnten Vorstellungskraft und Kreativität dann für einen Physiker notwendig werden, wenn er seine Argumente um jeden Preis belegen will. (r)</b>	3.08	0.93	.77	.39
<b>Nein. Denn Vorstellungskraft und Kreativität fehlt es an Reliabilität/Verlässlichkeit. (r)</b>	3.41	0.73	.85	.55
<b>Skala</b>	<b>3.41</b>	<b>0.73</b>	<b>.85</b>	<b>.75</b>

TSEBQ - Kontroverse: Entstehung/Zustand Universum – Sicherheit  
(vierstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>Was heute als gesichertes Wissen über Zustand und Entwicklung des Universums gilt, könnte morgen schon als falsch angesehen werden.</b>	3.31	0.74	.83	.71
<b>Die Ergebnisse zur Entwicklung und zum Zustand des Universums sind vorläufig.</b>	3.45	0.71	.86	.69
<b>Theorien zur Entwicklung und zum Zustand des Universums könnten jederzeit widerlegt werden.</b>	3.27	0.79	.82	.60
<b>Skala</b>	<b>3.34</b>	<b>0.74</b>	<b>.84</b>	<b><math>\alpha = .82</math></b>

TSEBQ - Entstehung/Zustand Universum – Rechtfertigung  
(vierstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>Um zu überprüfen, ob das, was ich über die Entwicklung/ den Zustand des Universums gelesen habe, verlässlich ist, werte ich es im Vergleich zu anderen Dingen aus, die ich gelernt habe.</b>	3.11	0.85	.78	0.31
<b>Wenn ich über Dinge lese, die mit der Entwicklung/dem Zustand des Universums zu tun haben, versuche ich mein eigenes Verständnis der Inhalte zu bilden.</b>	3.31	0.68	.83	0.41
<b>Um einen echten Einblick in die Sachlage zur Entwicklung/dem Zustand des Universums zu erhalten, muss man sich seine eigene Meinung zu dem, was man gelesen hat, bilden.</b>	3.21	0.79	.80	0.33
<b>Skala</b>	<b>3.21</b>	<b>0.77</b>	<b>.80</b>	<b><math>\alpha = .53</math></b>

**Anmerkung:** Items wurden aufgrund der unbefriedigenden Trennschärfe und unbefriedigender Reliabilität nicht für die Auswertung der Vorstudie berücksichtigt.

Kontroverse: Entstehung/Zustand Universum – Quelle  
(vierstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>Ich habe oft das Gefühl, dass ich einfach akzeptieren muss, dass ich dem vertrauen kann, was ich über die Entwicklung/den Zustand des Universums lese. (r)</b>	2.43	0.90	.61	.48
<b>Wenn ich etwas zum Thema „Entwicklung/ Zustand des Universums“ lese, ist die Meinung des Autors wichtiger als meine eigene. (r)</b>	2.92	0.85	.73	.58
<b>Meine persönlichen Urteile zur Entwicklung des Universums haben wenig Wert im Vergleich zu dem, was ich darüber aus Büchern und Artikeln lernen kann. (r)</b>	2.48	0.95	.62	.56
<b>Skala</b>	<b>2.61</b>	<b>0.90</b>	<b>.80</b>	<b><math>\alpha = .72</math></b>

Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften  
(vierstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>Ja, soziokulturelle Werte beeinflussen die Richtung und Themen naturwissenschaftlicher Untersuchungen.</b>	3.10	0.83	.77	.72
<b>Ja, denn Naturwissenschaftler, die in wissenschaftlichen Untersuchungen teilhaben, unterliegen soziokulturellen Einflüssen.</b>	3.17	0.79	.79	.72
<b>Nein, Naturwissenschaftler mit guter Ausbildung bleiben wertfrei, wenn sie forschen. (r)</b>	2.88	0.85	.72	.70
<b>Nein, denn die Naturwissenschaften benötigen Objektivität, welche konträr zu den subjektiven soziokulturellen Werten steht. (r)</b>	2.68	0.85	.67	.68
<b>Skala</b>	<b>3.41</b>	<b>0.73</b>	<b>.85</b>	<b><math>\alpha = .86</math></b>

Gesetze – entdeckt oder erfunden  
(vierstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>Entdeckt, denn physikalische Gesetze sind in der Natur vorhanden und Forscher müssen sie nur entdecken. (r)</b>	1.70	0.76	.43	0.54
<b>Entdeckt, denn physikalische Gesetze beruhen auf experimentellen Fakten. (r)</b>	1.77	0.77	.44	0.49
<b>Erfunden, denn Physiker erfinden Gesetze, um entdeckte Fakten, die aus Experimenten stammen, zu interpretieren.</b>	2.20	0.86	.55	0.55
<b>Erfunden. Denn seit es in der Natur nichts mehr Absolutes gibt, erfinden Physiker physikalische Gesetze.</b>	1.61	0.80	.40	0.41
<b>Skala</b>	<b>1.82</b>	<b>0.80</b>	<b>.46</b>	<b><math>\alpha = .71</math></b>

**Anmerkung:** Das Item „Manche Physiker entdecken ein Gesetz zufälligerweise, andere dagegen erfinden ein Gesetz auf Basis der ihnen bekannten Fakten.“ wurde auf Grund eines geringen Trennschärfekoeffizienten von  $r_{it} = .12$  entfernt.

Theorie: entdeckt – erfunden (vierstufige Ratingskala)

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p<sub>it</sub></i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<b>Entdeckt, denn die Ideen waren schon immer vorhanden, um entdeckt zu werden. (r)</b>	2.48	0.89	.62	.65
<b>Entdeckt, denn Theorien beruhen auf experimentellen Fakten. (r)</b>	2.33	0.79	.58	.65
<b>Erfunden, denn eine Theorie ist eine Interpretation experimenteller Fakten und experimentelle Fakten werden durch Wissenschaftler entdeckt.</b>	2.71	0.89	.68	.62
<b>Erfunden, denn eine Theorie wird von Naturwissenschaftlern geschaffen oder ausgearbeitet.</b>	2.63	0.95	.66	.76
<b>Erfunden, denn eine Theorie kann widerlegt werden.</b>	2.82	0.91	.71	
<b>Skala</b>	<b>2.59</b>	<b>0.89</b>	<b>.65</b>	<b><math>\alpha = .85</math></b>

**Anmerkung:** Das Item „Manche Forscher entdecken eine Theorie zufällig, andere dagegen erfinden eine Theorie aus den ihnen bekannten Fakten.“ wurde auf Grund eines geringen Trennschärfekoeffizienten von  $r_{it} = .31$  entfernt.

# Anhang IV: Kategoriensystem zur Erfassung der Antworten der offenen Items

Kategorien	Unterkategorien	Ankerbeispiele	C <sub>R</sub>
Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle	<i>eher angemessene Ansichten</i>		<b>.87</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atome/Energie als Konstrukt (nicht sichtbar)</li> <li>• Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung</li> <li>• Naturwissenschaften/Experiment als Mittel der Erkenntnis</li> <li>• Experimente können Theorien nur stützen und/oder widerlegen</li> <li>• Experimente nicht zwingend für Theoriebildung</li> </ul>	<p>„Meines Wissens ist es nicht möglich, Vorgänge auf atomarer Ebene sichtbar zu machen. Teilchenbeschleuniger (DESY in Hamburg, CERN in Genf) bestätigen jedoch mehr und mehr die wissenschaftlichen Annahmen.“</p> <p>„Sie beobachten die Auswirkungen von Energie, wie die Beschleunigung, die Geschwindigkeiten, Intensitäten von Strahlung,...“</p> <p>„Anhand der Naturwissenschaften versucht man, Erkenntnisse über die Natur zu erlangen.“</p> <p>„Ein Experiment ist eine Untersuchung die der Gewinnung von Daten dient-Eine Hypothese, also eine gestellte Frage an die Natur kann durch ein Experiment bestätigt oder entkräftet werden.“</p> <p>„Nein, es braucht nicht unbedingt Experimente. Theorien und Modelle lassen sich auch ohne Experimente weiterdenken.“</p>	
	<i>eher unangemessene Ansichten</i>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atome/Energie als Fakten (z. B. Mikroskop, Anziehungskräfte etc.)</li> <li>• Experiment (unbedingt) erforderlich</li> <li>• Experiment beweist (und widerlegt) etwas</li> <li>• Experiment veranschaulicht etwas/Schulbezug</li> </ul>	<p>„Ich denke, dass Physiker Beobachtungen mit dem Mikroskop oder mit dem bloßen Auge sichtbaren - Bereichen nutzen, um das Atommodell darzustellen.“</p> <p>„Es ist essentiell, das physikalische Wissen mit einem Versuch zu belegen. Die Theorie kann mit der Praxis belegt werden.“</p> <p>Mit einem Experiment versucht man mit einer bestimmten Methodik Theorien zu begründen und zu beweisen.</p> <p>Experimente sind anschaulich und vereinfacht. Es lassen sich Beobachtungen machen, die zur Erklärung dienen. Das physikalische Wissen der Schüler erhält anhand einer Veranschaulichung und Handlungsorientierung eine Erweiterung und dient als Zugang.</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objektiv Daten sammeln</li> </ul>	In den Naturwissenschaften ist es einfacher objektiver zu beobachten, die Phänomene sind erklärlicher und sind nicht von weiteren unmessbaren und interpretierbaren Aspekten abhängig.	
<b>Empirische Basis</b>	<p><i>eher angemessene Ansichten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interpretation systematischer Beobachtungen</li> <li>Phänomene erklären</li> </ul> <p><i>eher unangemessene Ansichten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aus Beobachtungen Theorien aufstellen</li> <li>• Eindeutig richtige und falsche Antworten</li> <li>• Entdecken von Naturgesetzen/Wahrheiten</li> <li>• Fakten der Natur</li> <li>• Naturwissenschaften sind praktisch orientiert/ als Grundlage für technische Anwendungen</li> </ul>	<p>Sie tragen die verschiedenen Erkenntnisse der vielen Wissenschaftler und der vielen Experimente zusammen und ziehen daraus Schlüsse.</p> <p>„In den Naturwissenschaften werden Phänomene aus der Natur erklärt. Dabei wird beobachtet, gemessen und analysiert.“</p> <p>„Damit meine ich, dass Theorien erstellt werden und diese überprüft werden, oder anhand von Erkenntnissen / Messergebnissen neue Theorien erstellt werden.“</p> <p>„Eigenschaften der Naturwissenschaft: sind beweisbar, nachweisbar, belegbar, es gibt ein richtig oder falsch, nur eine mögliche Lösung, Formeln müssen benutzt/erarbeitet werden.“</p> <p>„Naturwissenschaften beschäftigen sich mit dem Erkennen und der Erforschung von unterschiedlichen Naturgesetzen.“</p> <p>„Es geht nicht um Begründen und Interpretieren, sondern um Fakten die anhand von Daten begründet und bewiesen werden können.“</p> <p>„Der Mensch möchte in erster Linie die Natur verstehen, um sie sich zum Nutzen zu machen.“</p>	<b>.85</b>
<b>Kreativität &amp; Vorstellungskraft</b>	<p><i>eher angemessene Ansichten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atom, Energie: (kreatives) Konstrukt</li> <li>• Kreativität (im gesamten Forschungsprozess) nötig</li> </ul> <p><i>eher unangemessene Ansichten</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreativität nur in einzelnen Phasen nötig</li> <li>• keine Kreativität</li> </ul>	<p>„Das Bild vom Atom ist eine Konstruktion, die der "Realität" nicht entspricht, aber eine Vorstellung befördert, mit der man arbeiten kann.“</p> <p>„...Physiker lösen Probleme oft auch basierend auf heuristischen Ansätzen... Erfahrung und Kreativität sind dafür immens wichtig.“</p> <p>„Man muss kreativ sein um ein entsprechendes Experiment zu ,erfinden““.</p> <p>„Ich glaube eher nicht, dass Naturwissenschaftler Kreativität und Vorstellungskraft nutzen. In der Physik muss alles belegbar gemacht werden und dies kann die Kreativität nicht. Man möchte belegen mit welcher elektr.</p>	<b>.90</b>

<b>Ansichten zur „naturwissenschaftlichen Methode“</b> (nur Vorstudie)	<i>eher angemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen</li> </ul>	Spannung ein Blitz in Boden schlägt und dabei kann man sich nicht auf kreative Gedanken verlassen.“  „Bei Experimenten sind alle anderen „Störfaktoren“, welche, einen zusätzlichen Kausalzusammenhang haben könnten, ausgeschaltet.“  „Dazu arbeitet die Naturwissenschaft mit einer bestimmten Methodik. Vorstellungen bzw. Hypothesen werden mithilfe von Experimenten überprüft.“  „Im Gegensatz zu Geisteswissenschaften gibt es vorgeschriebene Wege durch die die Lösung erreicht werden kann.“	.85
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	<i>eher angemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Urknall“, Atom; Energie: Interpretation der Forscher</li> <li>• Forschung soziokulturell beeinflusst</li> </ul> <i>eher unangemessene Ansichten</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Urknall“, Energie: inhaltliche Antwort</li> <li>• „Urknall“: widersprüchliche/uneindeutige Daten</li> <li>• „Urknall“: zeitlicher Abstand/ keine Zeugen</li> <li>• Forschung durch Geld beeinflusst</li> <li>• Universell (z. B. weil Fakten überall gleich)</li> <li>•</li> </ul>	„Die Wissenschaftler haben aus den Beobachtungen unterschiedliche Schlussfolgerungen gezogen.“/ „Ergebnisse lassen sich interpretieren.“  „Erkenntnisinteresse ist u. a. auf Sinnhaftigkeit angelegt oder zumindest mit „kulturellen Werten! verknüpft.“  „In Schulbücher wird vereinfacht, reduziert. Dabei wird in den Schulbüchern eine vereinfachte Definition verwendet.“ „Forscher betrachten unterschiedliche Messwerte.“  „Es handelt sich um einen Vorgang, der so nicht wiederholt werden kann und vor sehr langer Zeit stattgefunden hat.“ „Wie sie zu dem Forschungsthema kommen ist eher abhängig von Einflüssen. rein vom finanziellen Gesichtspunkt, Forschung kostet Geld und wer die Forschung bezahlt will bestimmt auch beim Forschungsgegenstand mitreden.“ „Die Naturwissenschaften sind universell: das Kraftgesetz $F=m \cdot a$ z. B. ist überall anerkannt, egal wo man ist.“	.81

**Theorien &  
Gesetze***eher angemessene Ansichten*

- Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage
- keine Hierarchie Theorie/Gesetz
- Theorie = etabliertes Denkmodell
- Theorie gibt Forschungsrahmen vor
- Theorien sind nicht wahr/sind vorläufig
- Theorien werden erfunden
- Gesetze werden erfunden/durch Menschen gesetzt

„Die daraus gewonnen Erkenntnisse werden dann in Naturgesetze dargestellt, um die Vorgänge in der Natur zu beschreiben.“

„Theorien sind keine Gesetze. Theorien sind Landkarten, die zunächst ein Orientierungswissen liefern hinsichtlich notwendiger Experimente.“

„Physikalische Theorien sind Gedankenmodelle zu einem physikalischen Phänomen.“/ „Theorien sind mögliche Annahmen, wie sich naturwissenschaftliche Sachverhalte erklären lassen.“

„Theorien liefern Orientierungswissen hinsichtlich notwendiger Experimente.“

„Gerade die Relativitätstheorie entwickelt sich immer weiter, zu viele Fragen sind da noch offen, die nicht beantwortet oder über Experimente belegt werden können und sie ist in ständiger Entwicklung, da die Forschung noch nicht abgeschlossen ist.“

„Theorien werden erfunden, denn Theorie wird auf Basis der zu Zeit bekannten Fakten ausgearbeitet.“

„Die Gravitation existiert, sie wurde also entdeckt und ist nicht widerlegbar. Das Gravitationsgesetz wurde dazu dann erfunden, um das Phänomen der Gravitation zu erklären.“

*eher unangemessene Ansichten*

- Gesetze = bewiesen/gültig/fest
- Theorie = Hypothese/unbewiesene Idee
- Hierarchisches Verhältnis
- Theorien werden entdeckt/werden entdeckt und erfunden.
- Gesetze werden entdeckt

„Ein physikalisches Gesetz ist eine experimentell überprüfte Hypothese.“/ „Gesetze sind im Vergleich zu Theorien festgelegt.“

„Theorien sind eben theoretisch, d. h. noch nicht wissenschaftlich erwiesen.“ /

„Eine Theorie hat hypothetischen Charakter, man kann sie befürworten oder ablehnen.“

„Ich denke dass physikalische Theorien noch nicht weitgehend bewiesen wurden, um ein physikalisches Gesetz zu sein.“

„Theorien können für mich sowohl entdeckt als auch erfunden werden. Bei Dingen, die jederzeit in der Natur beobachtbar sind, sind sie entdeckt, bei Dingen, wie die Entstehung des Universums sind sie erfunden.“

„Naturgesetze werden beachtet und entdeckt, siehe Geschwindigkeit und Beschleunigung.“



**Vorläufigkeit***eher angemessene Ansichten*

- Theorienwandel bei neuen Belegen
- Theorienwandel bei Neuinterpretation

„Die Überprüfung von Theorien kann unterschiedliche Ergebnisse hervorbringen. So kann es sein, dass Theorien neu überdacht werden müssen, wenn entsprechende neue Erkenntnisse vorliegen.“

„Wissenschaftsgeschichtlich betrachtet sind die Theorien vom Aussehen unseres Universums seit der Himmelscheibe von Nebra über das ptolemäische und kopernikanische Weltbild mehrmals grundlegend erneuert, ausdifferenziert und ergänzt worden und werden es bis heute.“

*eher unangemessene Ansichten*

- kein Theorienwandel
- Theorienwandel durch technische Innovationen
- Theorienwandel wenn Theorie falsch

„Ich glaube, dass sich Theorien in der Physik nicht verändern. Ich glaube, dass die Theorien, die bereits entwickelt wurden, soweit stabil sind, dass sie keiner Überarbeitung bedürfen.“

„Aber ich kann mir vorstellen, dass die Darstellung (der Atome) umstritten sein wird. Außerdem ist es möglich, dass mit der Weiterentwicklung der Technik neue Erkenntnisse gewonnen werden und diese Darstellung irgendwann überholt ist.“

„Demnach können sich Theorien sehr wohl ändern, nämlich dann, wenn eine Theorie eines Wissenschaftlers, die bisher als korrekt angesehen wurde, durch einen weiteren Wissenschaftler widerlegt wurde.“

## **Anhang V: Informationsquellen für die Interventionsmaßnahme der Hauptstudie**

Die folgenden Texte wurden den Studierenden während der Interventionsmaßnahme der Hauptstudie als Informationsquellen zur Verfügung gestellt.

**Biographischer Text zu Isaac Newton**, aus: Greulich, Walter (2000): Lexikon der Physik. In sechs Bänden / CD-ROM. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.

**Biographischer Text zu Isaac Newton**, aus: Feldman, Anthony; Ford, Peter; Schaack, Klaus (1980): Erfinder und Wissenschaftler. Klagenfurt: Kaiser, S. 46-47.

**Biographischer Text zu Christiaan Huygens**, aus: Feldman, Anthony; Ford, Peter; Schaack, Klaus (1980): Erfinder und Wissenschaftler. Klagenfurt: Kaiser, S. 42-43.

**Biographischer Text zu Christiaan Huygens**, aus: Greulich, Walter (2000): Lexikon der Physik. In sechs Bänden / CD-ROM. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.

**Biographischer Text zu Christiaan Huygens mit grundlegender Darstellung der Wellentheorie von Licht**, aus: Hüfner, Jörg; Löhken, Rudolf (2010): Physik ohne Ende ... Eine geführte Tour von Kopernikus bis Hawking. 1. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH-Verl (Erlebnis Wissenschaft), S. 227-232.

**Biographischer Text zu Albert Einstein**, aus: Hüfner, Jörg; Löhken, Rudolf (2010): Physik ohne Ende ... Eine geführte Tour von Kopernikus bis Hawking. 1. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH-Verl (Erlebnis Wissenschaft), S. 63-67.

**Biographischer Text zu Albert Einstein**, aus: Feldman, Anthony; Ford, Peter; Schaack, Klaus (1980): Erfinder und Wissenschaftler. Klagenfurt: Kaiser, S. 264-265.

**Biographischer Text zu Albert Einstein**, aus: Greulich, Walter (2000): Lexikon der Physik. In sechs Bänden / CD-ROM. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.

**Einstein und der photoelektrische Effekt**, aus: Clegg, Brian; Maier, Hucky (2011): Physik für Eierköpfe. Wissenschaft in 60 Sekunden. Dt. Erstausg. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (Rororo, 62687), S. 52-53.

**Wissenschaftshistorischer Text über die Entwicklung der Vorstellungen von Licht**, aus: Sang, Hans-Peter (1999): Geschichte der Physik. Entwicklung von Begriffen und Teilgebieten der Physik in der Sekundarstufe I. Stuttgart: Klett (Naturwissenschaftliche Reihe), S. 123-130.

**Newtons fundamentale Entdeckung der Zusammensetzung des Lichts**, aus: Fäßler, Amand; Jönsson, Claus (2005): Die Top Ten der schönsten physikalischen Experimente. Orig.-Ausg. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl (rororo-science, 61628), S. 56-72.

**Text zur Kontroverse zwischen Huygens und Newton sowie Einsteins Erklärung des photoelektrischen Effekts**, aus: Röthlein, Brigitte (2004): Die Quantenrevolution. Neue Nachrichten aus der Teilchenphysik. Orig.-Ausg. München: Deutscher Taschenbuch-Verl (premium, 24389), S. 12-31.

**Entwicklungslinien der Optik**, aus: Kuhn, Wilfried (2001): Ideengeschichte der Physik. Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext. 1. Aufl. Braunschweig: Vieweg, S. 268-286.

**Text zur Entwicklung der Vorstellung vom Welle-Teilchen-Dualismus**, aus: Rössler, Wolfgang (2009): Eine kleine Nachtphysik. Große Ideen und ihre Entdecker. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verl (rororo sachbuch, 62487), S. 183-189.

**Wellenlehre und Einblick in die Quantenphysik**, aus: Meyer, Lothar; Gau, Barbara (2008): Physik. Lehrbuch für die Klasse 10, Gymnasium Bayern. 1. Aufl. Berlin, Bamberg: Duden Paetec; Buchner, S. 142-158.

**Interferenz**, aus: Greulich, Walter (2000): Lexikon der Physik. In sechs Bänden / CD-ROM. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.

**Seifenblasen und Ölpfützen - Das Geheimnis der Interferenz**, aus: Podbregar, Nadja (2003): Seifenblasen und Ölpfützen. Das Geheimnis der Interferenz. Hg. v. MMCD NEW MEDIA. Online verfügbar unter [http://www.scinexx.de/inc/artikel\\_drucken.php?id=1527&a\\_flag=2](http://www.scinexx.de/inc/artikel_drucken.php?id=1527&a_flag=2), zuletzt geprüft am 20.08.2014.

**Lichtwellen**, aus: Clegg, Brian; Maier, Hucky (2011): Physik für Eierköpfe. Wissenschaft in 60 Sekunden. Dt. Erstausg. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (Rororo, 62687), S. 88-89.

**Hallwachs-Effekt**, aus: Greulich, Walter (2000): Lexikon der Physik. In sechs Bänden / CD-ROM. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.

**Photonen**, aus Physik für Eierköpfe. Wissenschaft in 60 Sekunden. Dt. Erstausg. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (Rororo, 62687), S. 122-123.

**Welle-Teilchen-Dualismus**, aus: Clegg, Brian; Maier, Hucky (2011): Physik für Eierköpfe. Wissenschaft in 60 Sekunden. Dt. Erstausg. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (Rororo, 62687), S. 54-55.

**Undulationstheorie (Wellentheorie des Lichts)**, aus: Lexikon der Physik. In sechs Bänden / CD-ROM. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.

# Anhang VI: Deskriptivstatistische Kennwerte (Wissenschaftsverständnis) der Hauptstudie

Skalen	Anzahl Items	Skalenstufen		M	SD	Cronbach' Alpha
Epistemische Urteile: Wissen in Physik (Textur)	8	7	MZP 1	3.30	.97	<b>.83</b>
			MZP 2	3.62	.99	<b>.85</b>
Epistemische Urteile: Wissen in Physik (Variabilität)	5	7	MZP 1	4.53	.89	<b>.66</b>
			MZP 2	4.91	1.03	<b>.78</b>
Epistemische Urteile: Wissen über die Struktur von Atomen (Textur)	8	7	MZP 1	4.02	.96	<b>.87</b>
			MZP 2	3.88	.92	<b>.80</b>
Epistemische Urteile: Wissen über die Struktur von Atomen (Variab.)	5	7	MZP 1	4.92	1.06	<b>.84</b>
			MZP 2	4.74	1.13	<b>.84</b>
Epistemische Urteile im Umgang mit Kontroversen (Sicherheit)	4	4	MZP 1	3.14	.63	<b>.74</b>
			MZP 2	3.24	.51	<b>.73</b>
Epistemische Urteile im Umgang mit Kontroversen (Quelle)	3	4	MZP 1	2.68	.72	<b>.71</b>
			MZP 2	2.73	.65	<b>.64</b>
Annahmen zur Ontologie von Theorien (Textur)	8	7	MZP 1	3.91	.92	<b>.83</b>
			MZP 2	3.99	1.12	<b>.90</b>
Annahmen zur Ontologie von Theorien (Variabilität)	5	7	MZP 1	4.79	.86	<b>.75</b>
			MZP 2	4.82	1.03	<b>.85</b>
Annahmen zur Ontologie von Gesetzen (Textur)	8	7	MZP 1	2.62	.84	<b>.85</b>
			MZP 2	2.75	.89	<b>.85</b>
Annahmen zur Ontologie von Gesetzen (Variabilität)	5	7	MZP 1	3.44	1.07	<b>.74</b>
			MZP 2	3.56	1.23	<b>.80</b>
Ansichten zur Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft	5	4	MZP 1	3.41	.40	<b>.64</b>
			MZP 2	3.34	.48	<b>.71</b>
Ansichten zu soziokulturellen Einflüssen in den Naturwissenschaften	4	4	MZP 1	2.66	.68	<b>.83</b>
			MZP 2	2.94	.58	<b>.83</b>
Ansichten zur Frage, ob Theorien entdeckt oder erfunden werden	5	4	MZP 1	2.52	.70	<b>.83</b>
			MZP 2	2.64	.71	<b>.91</b>

.

## Anhang VII: Exemplarische Darstellung einzelner Informationsknoten der explorativen Phase




**physikws2011lichtfr**

- Wiki Home
- Letzte Änderungen
- Pages and Files
- Mitglieder
- Suchen
- All Pages
  - EinsteinBiographie
  - EinsteinMathematik
  - EinsteinPhotoeffekt
  - EinsteinPlank
  - EinsteinVersuch
  - EinsteinZimmer
  - Glossar
  - Huygens\_Biographie
  - Huygens\_Brechung
  - Huygens\_Brechung2
  - Huygens\_Home
  - Huygens\_Startseite
  - Huygens\_weitere Infos
  - Huygens\_Wellentheorie\_01
  - Huygens\_Wellentheorie\_02
  - Huygens\_Wellentheorie\_3
  - Newton's Labor
  - Newtons\_Bibliothek
  - Newtons\_Startseite
  - newton\_privat
  - see more

### Start

**PH-Physik präsentiert:**

**Was ist die genaue Natur des Lichtes?** Die Frage hat die Physik schon sehr lange beschäftigt, nicht erst seit Einstein oder Planck. Hier finden sie die genauen Vorstellungen der drei bedeutendsten "Theoretiker des Lichts", die alle entscheidende Modelle und Beiträge zum Verständnis des Lichts und seiner zugrundeliegenden Natur lieferten. Sei es Huygens, Newton oder Einstein selber - alle drei haben wesentliche Beiträge geliefert, die hier multimedial und "wissenschaftlich" (ziemlich) genau beschrieben und diskutiert werden sollen. Klicken Sie auf eines der Portraits für mehr!

		
Der per se etwas unbekannte <b>Huygens</b> , ein Zeitgenosse von Isaac Newton, forschte über die Wellennatur des Lichtes.	Isaac <b>Newton</b> entdeckte Grundlegendes über das Spektrum und (er-)fand die Korpuskeltheorie des Lichtes.	<b>Albert Einstein</b> "verband" diese beiden grundlegenden Modelle zu einer Einheit, dem berühmten Wellen-Teilchen-"Dualismus".
		<a href="#">Glossar und mehr...</a>

**physikws2011lichtfr**

- Wiki Home
- Letzte Änderungen
- Pages and Files
- Mitglieder
- Suchen
- All Pages
  - EinsteinBiographie
  - EinsteinMathematik
  - EinsteinPhotoeffekt
  - EinsteinPlank
  - EinsteinVersuch
  - EinsteinZimmer
  - Glossar
  - Huygens\_Biographie
  - Huygens\_Brechung
  - Huygens\_Brechung2
  - Huygens\_Home
  - Huygens\_Startseite
  - Huygens\_weitere Infos
  - Huygens\_Wellentheorie\_01
  - Huygens\_Wellentheorie\_02
  - Huygens\_Wellentheorie\_3
  - Newton's Labor
  - Newtons\_Bibliothek
  - Newtons\_Startseite
  - newton\_privat
  - see more

### EinsteinZimmer

**Einsteins Arbeitszimmer**



physikws2011lichtfr
guest | Beitreten | Hilfe | Anmelden

- Wiki Home
- Letzte Änderungen
- Pages and Files
- Mitglieder
- Suchen
- All Pages
  - EinsteinBiographie
  - EinsteinMathematik
  - EinsteinPhotoeffekt
  - EinsteinPlank
  - EinsteinVersuch
  - EinsteinZimmer
  - Glossar
  - Huygens\_Biographie
  - Huygens\_Brechung
  - Huygens\_Brechung2
  - Huygens\_Home
  - Huygens\_Startseite
  - Huygens\_weitere Infos
  - Huygens\_Wellentheorie\_01
  - Huygens\_Wellentheorie\_02
  - Huygens\_Wellentheorie\_3
  - Newton's Labor
  - Newtons\_Bibliothek
  - Newtons\_Startseite

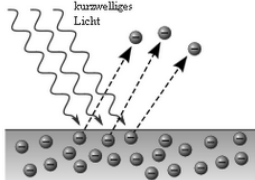
## EinsteinPhotoeffekt

Bearbeiten
0
5
...

### Nobelpreis für den Photoelektrischen Effekt

Bei diesem Effekt können Elektronen durch das Bestrahlen mit elektromagnetischer Strahlung aus einer Metalloberfläche herausgelöst werden.

- Dieser Effekt wurde zuerst 1839 von Becquerel beobachtet und 1886 von Hertz und Hallwachs systematisch untersucht.
- Die Energie der herausgelösten Elektronen hängt nur von der Frequenz der Strahlung ab.
- Die Intensität der Strahlung bestimmt nur die Anzahl der herausgelösten Elektronen.



Einstein hat diesen Effekt 1905 auf der Basis der Theorie von Planck (1900) durch Lichtteilchen erklärt.

Durch den Zusammenhang von Frequenz und Energie lässt sich die Übertragung von kinetischer Energie durch Licht erklären. Für diese Erklärung erhielt er 1921 den Nobelpreis für Physik.

- [Mathematische Erklärung](#)
- [Versuch zum Photoelektrischen Effekt](#)

[zurück](#)

physikws2011lichtfr


- Wiki Home
- Letzte Änderungen
- Pages and Files
- Mitglieder
- Suchen
- All Pages
  - EinsteinBiographie
  - EinsteinMathematik
  - EinsteinPhotoeffekt
  - EinsteinPlank
  - EinsteinVersuch
  - EinsteinZimmer
  - Glossar
  - Huygens\_Biographie
  - Huygens\_Brechung
  - Huygens\_Brechung2
  - Huygens\_Home
  - Huygens\_Startseite
  - Huygens\_weitere Infos
  - Huygens\_Wellentheorie\_01
  - Huygens\_Wellentheorie\_02
  - Huygens\_Wellentheorie\_3
  - Newton's Labor
  - Newtons\_Bibliothek
  - Newtons\_Startseite
  - newton\_privat
  - see more

## EinsteinVersuch

### Versuch zum Photoeffekt

Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs entdeckte 1886 den im Video dargestellten Photoeffekt.

Photoeffekt






[zurück](#)

physikws2011lichtfr

Wiki Home  
Letzte Änderungen  
Pages and Files  
Mitglieder  
Suchen  
All Pages  
EinsteinBiographie  
EinsteinMathematik  
EinsteinPhotoeffekt  
EinsteinPlank  
EinsteinVersuch  
EinsteinZimmer  
Glossar  
Huygens\_Biographie  
Huygens\_Brechung  
Huygens\_Brechung2  
Huygens\_Home  
Huygens\_Startseite  
Huygens\_weitere Infos  
Huygens\_Wellentheorie\_01  
Huygens\_Wellentheorie\_02  
Huygens\_Wellentheorie\_3  
Newton's Labor  
Newtons\_Bibliothek  
Newtons\_Startseite  
newton\_privat  
see more

Newtons\_Startseite
Beart

physikws2011lichtfr

Wiki Home  
Letzte Änderungen  
Pages and Files  
Mitglieder  
Suchen  
All Pages  
EinsteinBiographie  
EinsteinMathematik  
EinsteinPhotoeffekt  
EinsteinPlank  
EinsteinVersuch  
EinsteinZimmer  
Glossar  
Huygens\_Biographie  
Huygens\_Brechung  
Huygens\_Brechung2  
Huygens\_Home  
Huygens\_Startseite  
Huygens\_weitere Infos  
Huygens\_Wellentheorie\_01  
Huygens\_Wellentheorie\_02  
Huygens\_Wellentheorie\_3  
Newton's Labor  
Newtons\_Bibliothek  
Newtons\_Startseite  
newton\_privat  
see more

Newtons\_Bibliothek
Bearbeiten 0

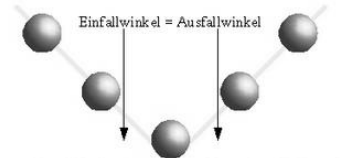
### Korpuskulartheorie von Newton:

Ich nehme an, dass Lichtquellen kleine Lichtteilchen, so genannte Korpuskeln, aussenden welche in unserem Auge Empfindungen hervorrufen. Die Materieteilchen der Luft üben von allen Seiten eine Kraft auf die Lichtkorpuskeln aus, sodass die Resultierende gleich null ist. Aufgrund des Trägheitsgesetzes breiten sich die Teilchen mit konstanter Geschwindigkeit geradlinig aus.

- Lichtquellen sind Teilchenstrahler (Korpuskeln)
- Ausbreitung von Substanz
- Lichtgeschwindigkeit ist Geschwindigkeit der Korpuskeln
- Korpuskel breiten sich geradlinig aus
- Es gibt so viele Arten von Korpuskel wie Farben im Spektrum und deren Dispersion ist reversibel
- Brechung erfolgt durch farbspezifisch mechanische Einwirkung des Mediums
- Vakuumlichtgeschwindigkeit ist für alle Korpuskel gleich, Lichtgeschwindigkeit im Medium ist abhängig von der Korpuskelfarbe
- Weißes Licht besteht aus allen Korpuskel des sichtbaren Spektrums zu gleichen Teilen

Im Gegensatz zu mir hat Huygens seine Wellentheorie aufgestellt.

**Erklärung der Reflexion:** Ich nehme abstoßende Kräfte zwischen den Korpuskeln und den Teilchen der Oberfläche an. Diese Kräfte stehen senkrecht zur Oberfläche und bewirken eine regelmäßige Reflexion. Man kann es sich wie einen elastischen Ball vorstellen, der an eine Wand prallt und es gilt das Reflexionsgesetz.



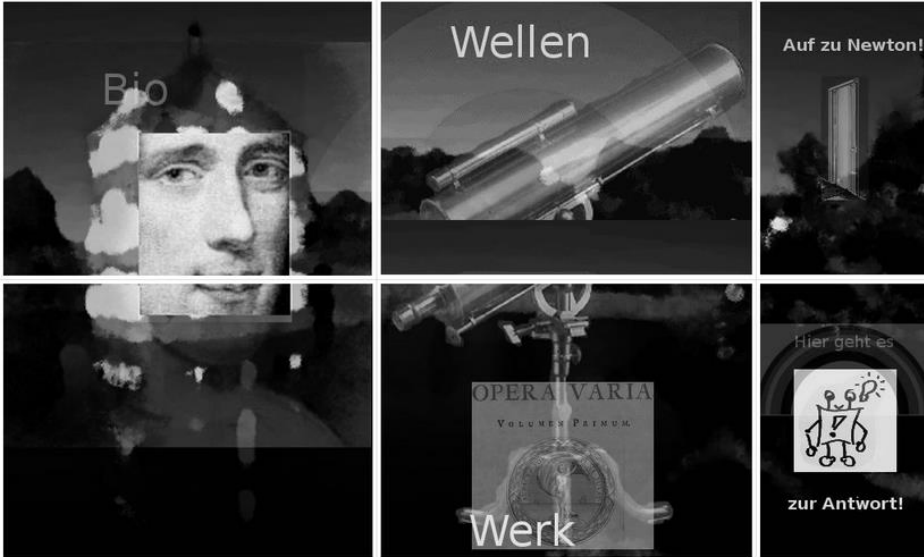
*Das Verhalten eines Lichtteilchens ist ähnlich dem Verhalten eines Gummiballes.*

physikws2011lichtfr

Wiki Home  
 Letzte Änderungen  
 Pages and Files  
 Mitglieder  
 Suchen  
 All Pages  
 EinsteinBiographie  
 EinsteinMathematik  
 EinsteinPhotoeffekt  
 EinsteinPlank  
 EinsteinVersuch  
 EinsteinZimmer  
 Glossar  
 Huygens\_Biographie  
 Huygens\_Brechung  
 Huygens\_Brechung2  
 Huygens\_Home  
 Huygens\_Startseite  
 Huygens\_weitere Infos  
 Huygens\_Wellentheorie\_01  
 Huygens\_Wellentheorie\_02  
 Huygens\_Wellentheorie\_3  
 Newton's Labor  
 Newtons\_Bibliothek  
 Newtons\_Startseite  
 newton\_privat  
 see more

## Huygens\_Home

Bearbeiten 0 11 ...



physikws2011lichtfr

Wiki Home  
 Letzte Änderungen  
 Pages and Files  
 Mitglieder  
 Suchen  
 All Pages  
 EinsteinBiographie  
 EinsteinMathematik  
 EinsteinPhotoeffekt  
 EinsteinPlank  
 EinsteinVersuch  
 EinsteinZimmer  
 Glossar  
 Huygens\_Biographie  
 Huygens\_Brechung  
 Huygens\_Brechung2  
 Huygens\_Home  
 Huygens\_Startseite  
 Huygens\_weitere Infos  
 Huygens\_Wellentheorie\_01  
 Huygens\_Wellentheorie\_02  
 Huygens\_Wellentheorie\_3  
 Newton's Labor  
 Newtons\_Bibliothek  
 Newtons\_Startseite  
 newton\_privat  
 see more

## Huygens\_Brechung

Bearbeiten 0 1

Um verstehen zu können, wie die Farben im Regenbogen sichtbar werden, müssen wir zuerst verstehen, wie die Lichtwellen sich verhalten, wenn sie in unterschiedliche Medien eindringen. Trifft eine Wellenfront aus einem dünneren Medium in ein dichteres, so werden sie langsamer und daher abgelenkt. Im Bild rechts sieht man dies anhand des langsameren Wellengangs im Prisma (Hier erkennt man übrigens auch etwas Teilreflektion, die hier, wie meist bei Brechung, nur einen geringen Anteil ausmacht).



Die Wellenfront (hier blau) trifft auf das Prisma auf. Trifft die Wellenfront nicht senkrecht auf das Medium auf, wird sie in einzelne Wellen wiederum aufgeteilt und diese bilden mit bereits aufgetroffenen Wellen eine neue Wellenfront (hier grün).





## Anhang VIII: Exemplarische Darstellung einzelner Informationsknoten der Hauptstudie

### Interventionsgruppe A



1671 führte ich im Werk „New theory of light and colour“ erstmals meine Kugelschichttheorie ein.

1675 führte  
Werk **Hypothese**  
das Ätherkonzept ein

1687 erschien  
mein Hauptwerk  
Philosophiæ  
Naturalis Principia  
Mathematica

1704 veröffentlichte ich  
mein 2. großes Werk:  
Optik

Ab 1703 war ich bis zu meinem Tod  
Präsident der Royal Society  
und 1705 wurde ich geadelt!

Am Ende meines Lebens: ...

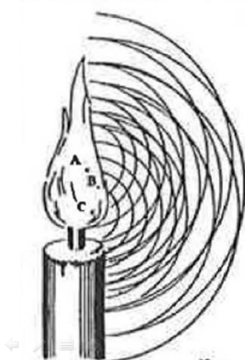


# Die Huygenssche Lichttheorie

Huygens war der erste, der die drei Phänomene **Reflexion**, **Refraktion** und **Doppelbrechung** mithilfe seiner **Theorie** zu erklären versuchte.

## Wie breitet sich Licht aus?

Licht ist Bewegung. Ich sehe Licht als die Bewegung einer fein verteilten Materie; diese nenne ich *Lichtäther*.



Alle Naturphänomene sind auf Mechanische Prozesse zurückführbar, auch Licht. Licht wird durch eine gewisse Bewegung erzeugt. Die Lichtstrahlen stören sich gegenseitig nicht und können sich durchdringen. Jeder Wechselwirkung liegt eine mechanische Berührung zu Grunde. Von hell erleuchteten Körper gehen schnell bewegte Partikel aus, die dann gegen die Teilchen des Lichtäthers prallen. Dadurch entsteht eine Stoßwirkung. Diese Stöße breiten sich vom Zentrum der Lichtquelle kugelförmig aus. Jedes Ätherteilchen, das angestoßen wird, wird selbst zu einer kleinen Lichtquelle, weil es den Stoß an andere Ätherteilchen weiter gibt. Dies ergibt eine so genannte Elementarwelle. Diese Elementarwellen sind Ausgang neuer Wellenfronten. So breitet sich das Licht wellenförmig aus.



Die Wellentheorie von Huygens

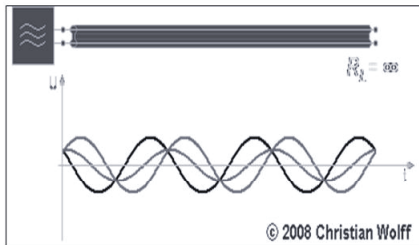




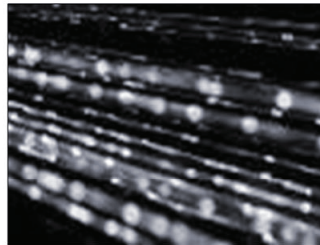
„Meine lieben Kollegen und Vordenker, verehrter Newton, verehrter Huygens. Ich gehe der Annahme, dass beide (Wellen sowie Teilchen) recht haben ... aber auch wieder nicht. Denn sie vergessen ein Phänomen, das bereits H. Hertz entdeckt aber unbeachtet gelassen hat. Obwohl nach Young und Fresnel jeder „wusste“, dass Kollege Huygens mit seinem Wellenmodell recht hat, ist Licht jedoch in der Lage Elektronen aus Metallen heraus zu schlagen. Eine Entdeckung und Erkenntnis, die Kollege Newton Recht gibt, der die Theorie der Lichtkorpuskel vertritt. Ich nenne dieses Phänomen Photoeffekt

und es lässt sich experimentell bestätigen. Daher gehe ich von einer Mischform Ihrer beiden Theorien aus, der Theorie über einen „Welle-Teilchen-Dualismus“.

### Welle



### Teilchen

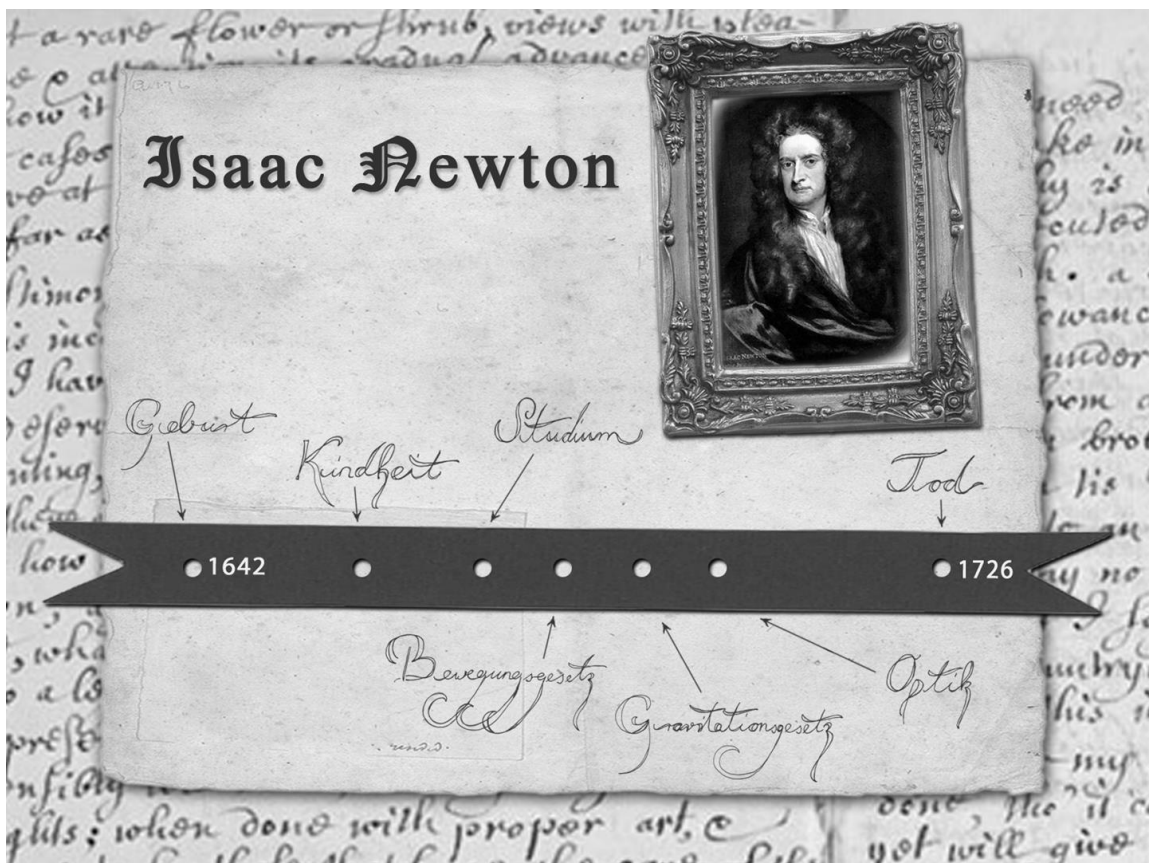


### Dualismus



### Interventionsgruppe B








## Inhaltsverzeichnis

1. Hygens'sches Prinzip
2. Ätherbegriff
3. „Warum hat sich die Theorie nicht durchgesetzt?“
4. Hygens Prinzip Applet




## Anerkennung der Theorie

Die Wellentheorie von Christian Huygens wurde etwa zur selben Zeit wie Newtons Teilchentheorie entwickelt.

Seine Theorie setzte sich aber wegen ihrer Unanschaulichkeit und der größeren Popularität Newtons bis ins 19. Jhd. nicht durch.

Mit Hilfe dieser Theorie konnten später nicht nur die Reflexion und die Brechung des Lichts, sondern auch die neu entdeckten Phänomene **Interferenz** (Thomas Young 1773 – 1829) und **Beugung** (Augustin Jean Fresnel 1788 – 1827) erklärt werden.



## **Anhang IX: Interviewleitfaden „Wissenschaftsverständnis in Physik & Learning by Design“**

### **Einführung**

- Dank für Teilnahmebereitschaft
- (nochmalige) Kurzvorstellung des Forschungsprojekts: Veränderung des Wissenschaftsverständnisses durch Learning by Design, nach Online-Befragung nun Interviews zur Vertiefung einzelner Aspekte
- Vorgehen: Gespräch ca. 30-40 Minuten, Darstellung eigener Meinungen und Ansichten möglich, es gibt keine falschen Antworten
- Vertraulichkeit und Datenschutz: Tonbandaufnahme (Gerät zeigen!), vertrauliche Behandlung aller Daten, alle persönlichen Daten werden anonymisiert, Transkription, Einverständnis einholen
- Fragen des Interviewpartners

### **>>> AUFNAHME STARTEN!**

► **„Sie erhalten hier Aussagen, die aus Antworten der Vorstudie entnommen wurden, bei der Lehrer/innen, Referendarinnen und Referendare sowie Studierende befragt wurden. Bitte geben Sie an, welche Aussagen am ehesten mit Ihrer eigenen Meinung übereinstimmen, indem Sie das entsprechende Kästchen ankreuzen.**

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

Lesen der Fragen und Antworten/Rating

	<b>Leitfrage/Sprechanlass</b>	<b>Check – Wurde das erwähnt?</b> <i>Nachfragen nur, wenn nicht von allein angesprochen, Formulierung anpassen</i>	<b>Konkrete Fragen im passenden Moment stellen</b>	<b>Aufrechterhaltungs- und Steuerungsfragen</b>
1	<b>Begründen Sie bitte Ihr Rating zu den Antworten zu der Frage „Was ist Naturwissenschaft?“ Wo sehen Sie Gemeinsamkeiten/Unterschiede zu Ihren Ansichten?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rolle der Objektivität (Aussage 1)</li> <li>• Unabhängigkeit von Meinungen/Zeit und gesellschaftliche Verhältnisse (Aussage 2)</li> </ul>		<p>► Nonverbale Aufrechterhaltung ► Können Sie dazu noch etwas mehr sagen? ► Was meinen Sie mit...? ► Lesen Sie bitte die Antwort nochmals vor.</p> <p>► In einer der Antworten steht ... Wie sehen Sie das? ► Geben Sie bitte ein Beispiel zu ..., als Sie sagten, dass... ► Wie hängt die Antwort zu ... mit der Antwort zu ... zusammen?</p>
2	<b>Wie sicher sind sich Physiker über die Struktur von Atomen? Begründen Sie Ihre Zustimmung oder Ablehnung.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rolle von Modellen</li> </ul>	Wie sicher ist das Wissen in anderen Bereichen der Physik? Beispiele?	<p>► Nonverbale Aufrechterhaltung ► Können Sie dazu noch etwas mehr sagen? ► Was meinen Sie mit...? ► Lesen Sie bitte die Antwort nochmals vor.</p> <p>► In einer der Antworten steht ... Wie sehen Sie das? ► Geben Sie bitte ein Beispiel zu ..., als Sie sagten, dass... ► Wie hängt die Antwort zu ... mit der Antwort zu ... zusammen?</p>
3	<b>Begründen Sie Ihr Rating zu den Aussagen, die die Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft in naturwissenschaftlicher Forschung betreffen.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rolle von Kreativität und Vorstellungskraft in anderen Forschungsphasen (z.B. Forschungsfrage, methodische Gestaltung der Untersuchung, Interpretation von Ergebnissen)</li> </ul>	Welche Rolle spielt Kreativität und Vorstellungskraft im Zusammenhang mit der Theorie von Licht bei Huygens, Newton und Einstein?	<p>► Nonverbale Aufrechterhaltung ► Können Sie dazu noch etwas mehr sagen? ► Was meinen Sie mit...? ► Lesen Sie bitte die Antwort nochmals vor.</p> <p>► In einer der Antworten steht ... Wie sehen Sie das? ► Geben Sie bitte ein Beispiel zu ..., als Sie sagten, dass... ► Wie hängt die Antwort zu ... mit der Antwort zu ... zusammen?</p>

4	<b>Begründen Sie Ihre Zustimmung/Ab- lehnung zu den Aussagen zu soziokul- turellen Einflüssen in den Naturwis- senschaften.</b>			<p>► Nonverbale Aufrechterhaltung ► Können Sie dazu noch etwas mehr sagen? ► Was meinen Sie mit...? ► Lesen Sie bitte die Antwort nochmals vor.</p> <p>► In einer der Antworten steht ... Wie sehen Sie das? ► Geben Sie bitte ein Beispiel zu ..., als Sie sagten, dass... ► Wie hängt die Antwort zu ... mit der Antwort zu ... zusammen?</p>
5	<b>Begründen Sie Ihr Rating zu Aussa- gen der Entstehung/Zustand des Uni- versums</b>		Wie verhält es sich bei der Kontroverse zwischen Huygens und Newton?	<p>► Nonverbale Aufrechterhaltung ► Können Sie dazu noch etwas mehr sagen? ► Was meinen Sie mit...? ► Lesen Sie bitte die Antwort nochmals vor.</p> <p>► In einer der Antworten steht ... Wie sehen Sie das? ► Geben Sie bitte ein Beispiel zu ..., als Sie sagten, dass... ► Wie hängt die Antwort zu ... mit der Antwort zu ... zusammen?</p>
6	<b>Was nehmen Sie aus der Learning by Design-Phase für sich mit?</b>			► Nonverbale Aufrechterhaltung ► Können Sie dazu noch etwas mehr sagen? ► Was meinen Sie mit...?
7	<b>Ergaben sich durch die Learning by Design-Phase Veränderungen in Ih- ren Ansichten zu Wissen in der Phy- sik?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ansichten zu Sicherheit</li> <li>• Ansichten zu Veränderlichkeit</li> </ul>		► Nonverbale Aufrechterhaltung ► Können Sie dazu noch etwas mehr sagen? ► Was meinen Sie mit...?
8	<b>Ihre Einschätzung zu „Learning by Design“ in der Schule bitte.</b>			► Nonverbale Aufrechterhaltung ► Können Sie dazu noch etwas mehr sagen? ► Was meinen Sie mit...?



**Aussagen 1**

**Was ist aus Ihrer Sicht Naturwissenschaft? Was unterscheidet Naturwissenschaft (oder eine ihrer Disziplinen, wie z.B. Physik) von Geisteswissenschaft (z.B. Philosophie, Theologie)?**

- a) In der Naturwissenschaft werden Phänomene aus der Natur erklärt. Dabei wird beobachtet, gemessen und analysiert. Bei den Geisteswissenschaften steht der Mensch im Mittelpunkt. In den Naturwissenschaften ist es einfacher, objektiver zu beobachten, die Phänomene sind erklärlicher und sind nicht von weiteren unmessbaren und interpretierbaren Aspekten abhängig. Im Unterschied zu den Geisteswissenschaften sind für mich Naturwissenschaften logisch aufgebaut und vor allem nicht abhängig von Meinungen bestimmter Personen, der Zeit in der diese Personen leben oder deren Einbindung in die gesellschaftlichen Verhältnisse.

Meine Ansichten dazu sind...

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

- b) Viele Entwicklungen der naturwissenschaftlichen Erkenntnis hängen von Beobachtungen ab. Die Naturwissenschaften beobachten komplexere Systeme. Was und wie dabei beobachtet wird, beruht auf Vereinbarungen, die subjektiven und kulturellen Einflüssen unterliegen. Ich glaube nicht, dass die Naturwissenschaften das Ziel haben (sollten), beobachtbare Fakten anzuhäufen. Vielmehr bedingen die Naturwissenschaften Abstraktion, eine Stufe der Abstraktion nach der anderen.

Meine Ansichten dazu sind...

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

---

**Aussagen 2**

**Wie sicher sind sich Physiker über die Struktur von Atomen? Was glauben Sie, welche spezifischen Hinweise oder Arten von Hinweisen Wissenschaftler nutzten, um das Aussehen von Atomen zu bestimmen?**

- a) Ich denke, dass sich Physiker sicher sind, wie ein Atom aufgebaut ist.

Meine Ansichten dazu sind...

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

- b) Die dargestellte Struktur ist ein Modell. Die Wirklichkeit kann von uns nicht beobachtet werden. Die heutigen Theorien sind nicht alle experimentell entstanden, und nur teilweise experimentell nachgewiesen. Also benutzen Wissenschaftler Modellvorstellungen, die geändert werden, wenn sie nicht tragfähig sind. Es ist also nicht ganz sicher.

Meine Ansichten dazu sind...

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

### Aussagen 3

**Falls Sie glauben, dass Physiker Kreativität und Vorstellungskraft nutzen, was denken Sie, wann und wo im Forschungsprozess Vorstellungskraft und Kreativität eine Rolle spielen.**

**Geben Sie wenn möglich ein Beispiel.**

- a) Ich glaube, dass Vorstellungskraft und Kreativität besonders in der Phase zu tragen kommen, in der die Hypothese bewiesen werden soll - also im Versuchsaufbau.

Meine Ansichten dazu sind...

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

- b) Ich glaube nicht, dass Naturwissenschaftler Kreativität und Vorstellungskraft nutzen. Physiker haben eine Hypothese und die gilt es zu prüfen. Im Prozess dieser Forschung gibt es wenig Kreativität, da die Experimente einer bestimmten Anleitung/Struktur folgen müssen!

Meine Ansichten dazu sind...

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

---

### Aussagen 4

**Wenn Sie glauben, dass die Naturwissenschaften soziale und kulturelle Werte reflektieren, dann erklären Sie, wie und warum. Belegen Sie Ihre Antwort mit einem Beispiel.**

- a) Ich glaube, dass Naturwissenschaften universell sind, da Forscher aus allen Ländern und Kulturen zusammen arbeiten.

Meine Ansichten dazu sind...

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

- b) Ich denke, dass hier immer soziale und kulturelle Einflüsse eine Rolle spielen. Ein Wissenschaftler kann an sich nicht objektiv sein (so wenig wie ein Lehrer (unbewusst)).

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

## Aussagen 5

### „Der Urknall: Hat er stattgefunden?“

Von den von Astrophysikern formulierten Hypothesen zur Entwicklung und zum Zustand des Universums wurden in der Mitte des letzten Jahrhunderts besonders zwei intensiv diskutiert...“

**Wie erklären Sie es sich, dass beide Gruppen zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, obwohl sie im Wesentlichen das Gleiche beobachten?**

- a) Physiker kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen, da keiner von ihnen vor Ort war, als das Universum entstand, es gab keine direkte Beobachtung durch Zeugen. Der einzige Weg, um zu einer befriedigenden Antwort zu kommen, wäre, wenn man in der Zeit zurückreisen könnte, um alles direkt beobachten zu können..

Meine Ansichten dazu sind...

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

- b) Es gibt keine 100% Objektivität. Die beiden Gruppen gehen von unterschiedlichen Perspektiven oder Vorerfahrungen aus. Die eine Gruppe kann Unendlichkeit akzeptieren. Die andere Gruppe geht dem Gedanken nach, dass alles einen Anfang und ein Ende hat. Aus konstruktivistischer Sicht haben die beiden Gruppen zwar das gleiche gesehen, aber unterschiedlich mit ihren Weltbildern verknüpft.

Meine Ansichten dazu sind...

☐ sehr ähnlich ☐ ähnlich ☐ unähnlich ☐ sehr unähnlich

**Anhang X: Transkriptionsregeln für die ergänzenden Interviews**

Interviewer = Interviewer

Proband/in = Proband/in

(lacht), (hustet) = besondere Auffälligkeiten, nonverbale Äußerungen

( ) = Aufnahme unverständlich, unverständliche Äußerung

eigentl-- = Abbruch eines Wortes

(2), (3) = Anzahl der Sekunden der Pausen zwischen einzelnen Wörtern. Bereits bei einer Sekunde mit der Angabe beginnen.

- Dialekt wird nicht geschrieben („gerade“ statt „grad“, „ich denke“ statt „ich denk“).
- Keine Transkription von Ähm, Ah oder ähnlichem, falls längeres „Ähm“ → als Pause angeben
- Kein bestätigendes oder bejahendes „Mhm“ des Interviewers transkribieren.
- Betonungen oder Dehnungen von Lauten werden nicht transkribiert.
- Doppeltes Sprechen muss nicht kenntlich gemacht werden, sondern wird nacheinander getippt.
- Wenn offensichtlich, dann wörtliche Rede mit Anführungszeichen markieren (z.B. Ich habe „*unähnlich*“ angekreuzt; Da heißt es „*kommt da zu tragen in der Phase, in der die Hypothese bewiesen werden soll*“)
- Namen anderer Personen aus der Gruppe (wenn Bezug genommen wird) grau hinterlegen

Groß- und Kleinschreibung, Satzzeichen:

- Satzzeichen werden nach grammatikalischen Gesichtspunkten gesetzt und Sätze an hörbaren Bruchstellen beendet. Ansonsten wird mit Kommata gearbeitet (auch, wenn der Satz sehr lang wird – jedoch der Eindruck besteht, es wird ein Zusammenhang erläutert). Nach einem Komma wird wie bekannt klein weiter geschrieben.

Zeilennummerierung:

- Die Zeilennummerierung erfolgt durchlaufend.

Beginn und Ende der Transkription:

- Die Transkription beginnt mit der ersten Fragstellung der Interviewerin bzw. der ersten Äußerung der Probanden nach dem Lesen und endet mit dem letzten Antwortsatz der Probandin/des Probanden

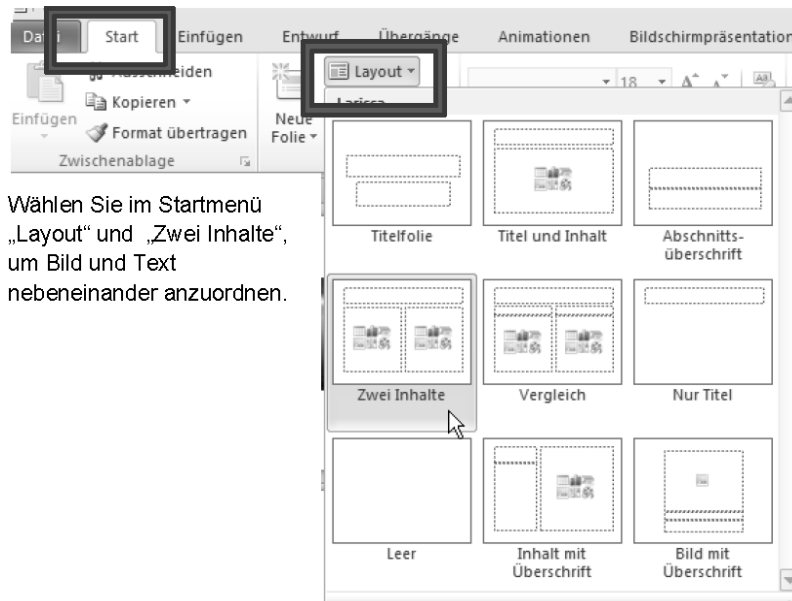
Dateiname:

Name des Probanden

## Anhang XI: Anleitung zur Erstellung von Hyperlinks und verweissensitiver Abbildungen in MS PowerPoint

### Hyperlinks in Powerpoint – Schritt für Schritt

#### Text und Bild auf einer Seite anordnen (über „Layout“)



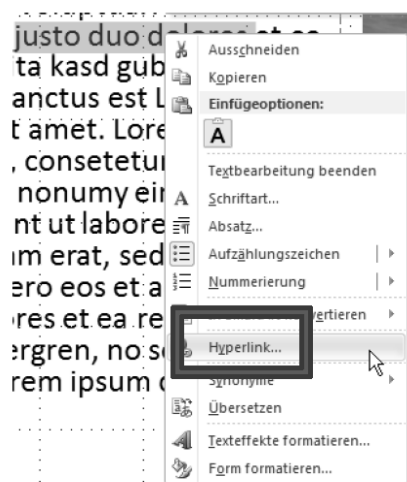
Klicken Sie in das Textfeld, um Text hinzuzufügen. Klicken Sie danach im anderen Feld auf das Symbol „Grafik aus Datei einfügen“. Entsprechend können Sie auch Filmdateien einfügen.

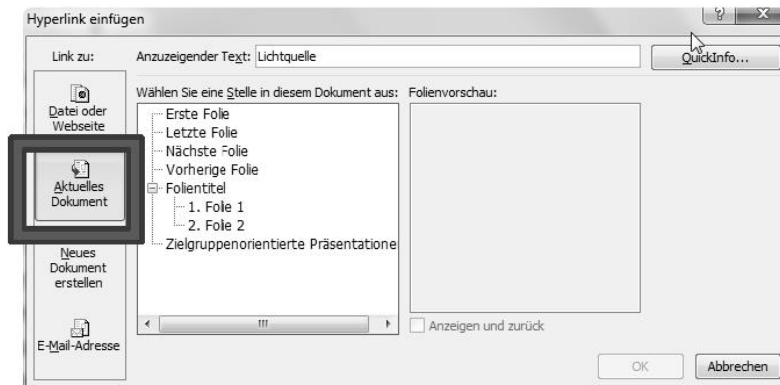
#### Hyperlink einfügen (Text)

Markieren Sie ein oder mehrere Wörter und klicken Sie mit der rechten Maustaste. Es öffnet sich ein Kontextmenü, in dessen unterem Drittel Sie den Menüpunkt Hyperlink finden.

Klicken Sie auf Hyperlink!

Es öffnet sich ein Fenster, in dem Sie das Ziel des Hyperlinks angeben können. Folgende Ziele kann ein Hyperlink haben: URL im Web, Datei, Folie innerhalb der aktuellen Powerpoint-Datei, Neues (noch nicht existierendes) Dokument, E-Mail-Adresse





Um innerhalb einer Powerpoint-Datei eine Verknüpfung zu erstellen, wählen Sie „Aktuelles Dokument“ und anschließend die entsprechende Folie.

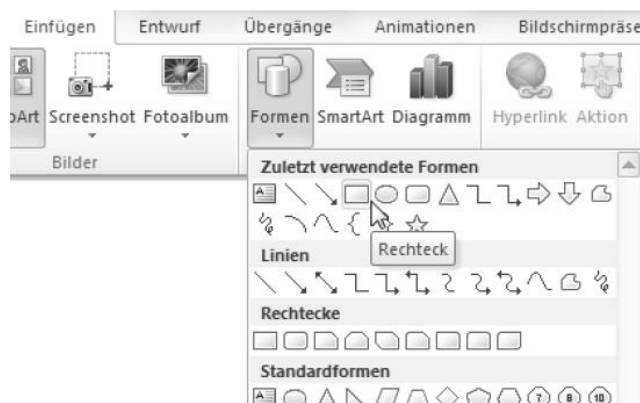
### Hyperlink einfügen (Bild)

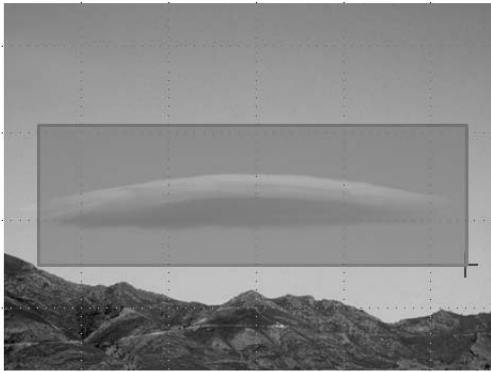


Gehen Sie bei der Verlinkung zwischen einem Bild und eines anderen Ziels ähnlich vor, wie bei der Verlinkung mit Text. Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das Bild. Es öffnet sich ein Kontextmenü. Wählen Sie Hypertext und bestimmen Sie danach das Ziel.

### Hyperlink einfügen (Bildausschnitt)

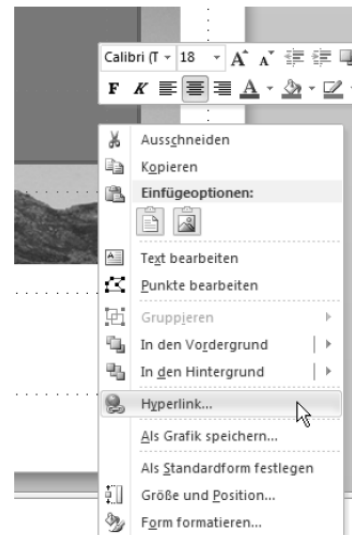
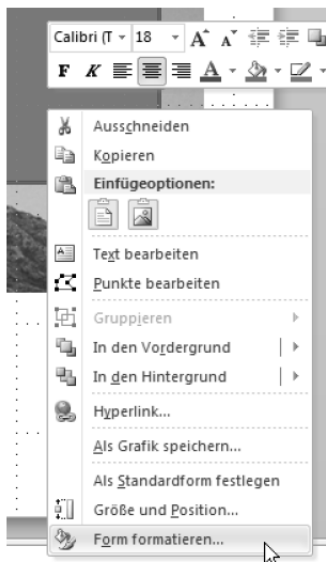
Sie können auch auf Teilbereiche eines Bildes Hyperlinks positionieren. Nachdem Sie ein Bild eingefügt haben, wählen Sie „Einfügen“ → „Formen“ und eine entsprechende Form.





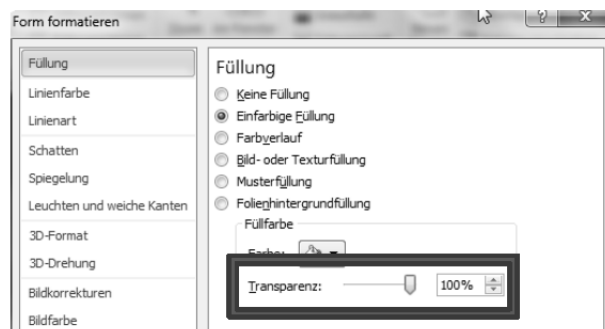
Ziehen Sie danach die Form an der Stelle des Bildes auf, an der der Hyperlink erscheinen soll.

Klicken Sie dann mit der rechten Maustaste auf die Form und wählen Sie „Hyperlink“, um das Ziel der Verknüpfung zu definieren.



Danach klicken Sie nochmals auf die Form und wählen „Form formatieren“, um die Form transparent zu machen.

Stellen Sie bei Füllung die Transparenz auf 100% und wählen dann bei Linienfarbe „Keine Linie“. Auf dem zuvor markierten Bildausschnitt liegt nun ein Hyperlink.







Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die Arbeit eigenständig verfasst, nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und wörtlich oder sinngemäß anderen Werken entnommene Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Bernd Schüssele

Lahr; den 9. April 2017